

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)»
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи



Безруков Дмитрий Дмитриевич

**ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ГРУЗОВ В
ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ГРУЗОВОМ ПОЕЗДЕ**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Резер Семён Моисеевич

Москва – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОЕКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОЕЗДАМИ.....	10
1.1. Анализ объёмов и структуры грузовых перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом, а также сравнение конкурентного потенциала с автомобильными перевозками.....	10
1.2 Анализ зарубежного и отечественного опыта по проектированию и эксплуатации высокоскоростных грузовых поездов.....	15
1.2.1 Первые адаптированные высокоскоростные пассажирские поезда для осуществления грузоперевозок.....	15
1.2.2 Проекты поездов для Eurocarex.....	19
1.2.3 Проект Cargo Train Express (CTX).....	22
1.2.4 Поезд нового поколения.....	23
1.2.5 Проектируемый грузовой поезд для России.....	25
1.3 Анализ зарубежного опыта по методу погрузки перспективного высокоскоростного грузового поезда.....	28
1.3.1 Описание проблемы и математическая модель.....	28
1.3.2 Подход к сортировке ULD по группам перед погрузкой в вагоны.....	33
1.3.3 Подход к размещению групп ULD по вагонам.....	35
1.3.4 Подход по оптимизации распределения ULD по вагонам.....	36
1.3.5 Алгоритм «Имитация отжига» для оптимизации размещения ULD внутри вагона.....	37
1.3.6 Заключительные положения.....	38
1.4 Выводы к главе.....	39

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЦЕНТРОВКИ ВАГОНА	
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА.....	41
2.1 Анализ средств выполнения погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов в транспортных пакетах на различных видах транспорта.....	41
2.2 Анализ грузовых единиц для осуществления грузоперевозок в вагонах высокоскоростного поезда.....	45
2.3 Представление концепции высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ.....	50
2.4 Разработка методов автоматического перемещения перевозимых грузов на основе алгоритма поиска в ширину и A^*	53
2.4.1 Математическая модель и программная реализация.....	53
2.4.2 Описание алгоритма поиска.....	54
2.4.3 Разработка программы.....	56
2.5 Разработка метода размещения ULD в поезде, оснащённом СРСЦТ, следующем без промежуточных остановок.....	58
2.5.1 Постановка задачи и описание параметров модели.....	59
2.5.2 Математическая модель.....	61
2.5.3 Подход к решению задачи.....	66
2.6 Разработка метода размещения ULD внутри вагона для ускорения погрузочно-разгрузочных работ.....	68
2.6.1 Построение алгоритма поиска схемы разгрузки.....	72
2.7 Выводы к главе.....	76
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ	
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА, ОСНАЩЕННОГО СРСЦТ, В ЦЕПИ ПОСТАВОК.....	78
3.1. Расчёт времени погрузки (выгрузки) вагона высокоскоростного поезда, оснащённого СРСЦТ.....	78
3.2 Сравнительный анализ технических характеристик высокоскоростного поезда, оснащённого СРСЦТ, и грузового автомобиля.....	81

3.3 Базовая модель расчёта времени доставки груза с применением высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ, в цепи поставок.....	83
3.4 Выводы к главе.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
Список использованных источников.....	91
Приложения.....	105

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования определяется потребностью в обеспечении безопасности движения поездов, перевозок растущих объёмов товаров электронной торговли, увеличении скорости доставки грузов железнодорожным транспортом, замедлении оттока высокодоходных грузов (второго и третьего тарифных классов) с железнодорожного транспорта на автомобильный, а также в выполнении Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года в части развития скоростного и высокоскоростного движения. [1]

Развитие скоростных (ускоренных) и высокоскоростных грузовых перевозок железнодорожным транспортом позволит не только составить конкуренцию автомобильному транспорту, но и представить на рынок транспортных услуг новые (по характеристикам) услуги и логистические технологии.[2-23]. Совершенствование таких перевозок будет способствовать также решению задач государственной важности: улучшению экологической обстановки, связанному с уменьшением вредных выбросов в атмосферу; снижению загрузки автомагистралей, позволяющему отдалить и перераспределить инвестиции в дорогостоящую автодорожную инфраструктуру.

В отличие от ускоренных грузоперевозок высокоскоростные находятся еще в стадии проектирования [24-27]. Несмотря на признание проекта высокоскоростного транспортного коридора «Евразия» (ВСМ «Евразия») [28] не достаточно рентабельным (при существующем прогнозировании спроса), нельзя недооценивать его роль в интеграции регионов страны в единое логистическое и экономическое пространство в перспективе. [29]

Данное исследование посвящено методам размещения транспортных пакетов (одинаковых по габаритам, но различных по массе) в концептуальном грузовом высокоскоростном поезде, курсирующем между промышленными, экономическими центрами нашей страны (городами, предприятиями) и

перевозящем высокодоходные товары (сборные и тарно-штучные грузы, широкий ассортимент товаров народного потребления, легковые автомобили, продукты питания и скоропортящиеся грузы) мелкими отправлениями. Предполагается, что поезд будет совершать ряд промежуточных остановок для осуществления частичных погрузочно-разгрузочных работ, в ходе которых происходят как изменения масс вагонов, так и смещение их центров тяжести (ЦТ). Пол вагона оборудован механизмом, автоматически перемещающим перевозимые грузы с целью поддержания минимального смещения ЦТ от геометрического центра вагона, а также автоматизации процессов погрузки и выгрузки. Данный механизм в совокупности с методами расчёта оптимального положения перевозимых грузов на всех этапах следования поезда представляет собой систему регулирования смещения центра тяжести (СРСЦТ). СРСЦТ подразумевает полную информатизацию перевозочного процесса.

В перспективе дальнейшего увеличения скоростей движения и/или масс поездов вопрос минимизации смещения ЦТ становится наиболее актуальным.[30]

Степень разработанности темы

Научно-теоретическая база исследований по теме диссертации, а также в смежных областях знаний включает в себя научные труды следующих направлений:

1. Теоретические и методические основы эффективности работы транспорта, сущности конкуренции на транспорте, качества транспортного обслуживания и управления конкурентоспособностью внесли отечественные учёные: Белов И. В. [35], Лёвин Б. А. [100], Бубнова Г. В. [58,59], Морозов В. Н. [42], Ефимова О. В. [65], Лapidус Б. М. [38,39], Багинова В. В. [44], Мачерет Д. А. [45,49], Пехтерев Ф. С. [50], Резер С. М. [56], Резер А. В. [57], Хусаинов Ф. И. [31,51] и др.

2. Организации ускоренных перевозок посвящены работы Вакуленко С. П., Колина А. В., Павлова А. И., Акулова А. М., Грачева С. А., Начученко А. С., Савельева М. Ю., Прокофьева М. Н. и др.

3. Исследованиями по организации высокоскоростных грузовых железнодорожных перевозок занимались G. Troche, M. Hayes, W. Lowe, X-H Liang, K-H. Tan, A. Whiteing, Junseo Park, M. Strale, Chris Nash, Daniel Johnson, M.F. Ziolkowski, Gong P., Lin, Z., Yu, Q.

4. Алгоритмы, применяемые в поиске решений поставленных задач, отражены в работах П. Харта, Н. Нильсона, Б. Рафаэля, Кошечева И. С., Валеевой А. Ф., V. Lurkin, M. Schyns, F. Bruns, S. Knust.

Целью исследования является разработка методов функционирования элементов СРСЦТ.

Задачи исследования:

- исследовать положение железнодорожного транспорта на рынке грузоперевозок;
- проанализировать мировой опыт по проектированию и эксплуатации высокоскоростных грузовых поездов;
- исследовать средства выполнения погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов в транспортных пакетах на железнодорожном, автомобильном и авиационном видах транспорта;
- исследовать зарубежный опыт оптимизации размещения грузовых единиц в вагонах перспективного высокоскоростного поезда для осуществления мелкопартионных перевозок;
- разработать концепцию СРСЦТ;
- разработать схему устройства пола вагона, оснащенного механизмом автоматического перемещения перевозимых грузовых единиц;
- провести сравнительный анализ грузовых единиц для осуществления мелкопартионных грузоперевозок в вагоне перспективного высокоскоростного поезда;
- разработать алгоритм работы механизма для автоматического перемещения перевозимых грузовых единиц внутри вагона перспективного высокоскоростного поезда;

- разработать метод размещения грузовых единиц в вагонах перспективного высокоскоростного поезда;
- разработать метод расположения грузовых единиц внутри вагона перспективного высокоскоростного поезда перед началом выгрузки;
- оценить конкурентные преимущества перспективного высокоскоростного грузового поезда перед автомобильным транспортом (еврофуры) в цепи поставок.

Объектом исследования является СРСЦТ, интегрированная в перспективный высокоскоростной грузовой поезд.

Предметом исследования являются элементы СРСЦТ.

Научная новизна исследования состоит в представлении концепции СРСЦТ для вагонов перспективного высокоскоростного поезда, перевозящего тарно-штучные грузы в транспортных пакетах, математических моделей и алгоритмов работы её элементов:

- механизма автоматического перемещения грузов внутри вагона;
- программного обеспечения при формировании схем размещения грузов внутри вагона для минимизации смещения центра масс грузов от геометрического центра вагонов на этапе движения поезда с максимальной скоростью, а также для ускорения выгрузки на этапе подъезда к остановочному пункту.

Теоретическая и практическая значимость диссертации:

Теоретическая и практическая значимость научных результатов работы состоит в обобщении опыта, совершенствовании и развитии научных подходов в области осуществления мелкопартионных перевозок железнодорожным транспортом. Предложенная технология перевозки высокодоходных грузов обеспечит безопасность движения на высоких скоростях, повысит эффективность и конкурентоспособность железнодорожного транспорта. Представленные решения после адаптации и дальнейшей научной проработки могут быть использованы в других транспортных отраслях.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертации использованы:

- системный, комплексный подход к разработке концепции СРСЦТ;
- статистические методы для анализа сектора рынка перевозки немассовых грузов и мелких отправок;
- математические методы моделирования технологий автоматического перемещения грузовых единиц внутри вагона, распределения перевозимых грузовых единиц между вагонами, а также размещения грузовых единиц по вагонам;
- сравнительный анализ для расчета условий эффективного применения высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ, с автомобильным транспортом.

Положения, выносимые на защиту

- концепция СРСЦТ;
- схема устройства пола вагона перспективного высокоскоростного поезда, оснащенного механизмом автоматического перемещения грузовых единиц;
- математическое обоснование и алгоритмы работы механизма перемещения перевозимых грузовых единиц внутри вагона;
- математическая модель формирования схем размещения перевозимых грузовых как между вагонами, так и внутри каждого вагона;
- алгоритм формирования схем размещения ULD внутри вагона перед началом выгрузочных работ;
- математическая модель расчёта эффективности применения перспективных высокоскоростных поездов, оснащенных механизмом автоматического перемещения грузовых единиц в цепи поставок.

Степень достоверности и апробация результатов исследования, выдвигаемых в диссертационной работе, положений и выводов подтверждается использованием данных, опубликованных в открытых статистических сборниках информации о показателях развития транспортно-экспедиционного обслуживания, в рецензируемых изданиях, а также официальных данных о хозяйственной деятельности структурных подразделений ОАО «РЖД».

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОЕКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОЕЗДАМИ

1.1. Анализ объёмов и структуры грузовых перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом, а также сравнение конкурентного потенциала с автомобильными перевозками

Согласно аналитическим материалам (таблица 1.1) российский железнодорожный транспорт продолжает наращивать объёмы перевозок низкодоходных грузов за счёт растущего спроса на каменный уголь, минеральные удобрения и зерно у ключевых развивающихся стран, а также у ряда стран ЕС. [31- 35].

Таблица 1.1 – Структура перевозок отдельных видов грузов железнодорожным транспортом общего пользования

Отправлено грузов в том числе:	В процентах к итогу					
	2005	2010	2015	2016	2017	2018
каменный уголь	21,9	22,3	26,7	27,0	28,5	29,0
кокс	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9
нефтяные грузы	17,2	21,0	20,6	19,2	18,6	18,3
руды металлические	10,0	10,6	10,7	10,6	10,3	9,0
черные металлы	5,8	6,0	5,9	5,8	5,8	6,0
лом черных металлов	2,1	1,7	1,2	1,2	1,2	1,2
химические и минеральные удобрения	3,4	3,8	4,2	4,4	4,5	4,6
минеральные строительные материалы	22,7	11,8	10,7	11,5	10,5	9,6
цемент	2,7	2,8	2,4	2,2	2,1	1,9
лесные грузы	5,1	3,4	3,2	3,4	3,4	3,5
зерно и продукты перемола	1,8	1,5	1,7	1,8	2,0	2,3
прочие	6,4	14,1	11,8	11,9	12,2	11,4

Введение в действие ряда магистральных трубопроводов существенно повлияло на снижение объемов перевозки нефти и нефтепродуктов главным образом из-за более низкой стоимости транспортировки, более высокой пропускной способности, а также меньших потерь груза [36]. Снижение объёмов перевозок остальных видов грузов в большей степени связано с постепенным переориентированием грузоотправителей на альтернативные виды транспорта. [37-39]

Согласно таблице 1.2 с 2005 по 2017 годы стабильно увеличивались объёмы контейнерных перевозок.

Таблица 1.2 – Перевозки грузов и грузооборот железнодорожного транспорта общего пользования

Наименование показателей	2005	2010	2015	2016	2017
Перевезено грузов - всего, млн. т					
из них:	1273	1312	1329	1325	1384
в контейнерах	17,4	23,0	28,6	32,0	37,8
пакетами	12,2	14,7	25,7	31,0	27,8
Удельный вес контейнеров массой брутто 20 т и более в общем отпращивании грузов в контейнерах, процентов	83,5	83,0	99,9	99,9	99,9

Основной прирост перевозок контейнеров пришёлся на транзитное сообщение (+59,2% к уровню 2017 года). В первую очередь это связано с ростом привлекательности железнодорожного транспорта России для иностранных пользователей услуг [40-45]. Наблюдается активное развитие гружёных контейнерных перевозок не только из стран Азии в Европу, но и в обратном направлении. Например, в 2017 году из Финляндии в Китай начал курсировать контейнерный поезд с пиломатериалами и оборудованием, из Республики

Беларусь в мае 2016 года также был запущен контейнерный поезд с продукцией деревопереработки.[46,47].

На рост привлекательности контейнерных перевозок за последние годы повлияла отмена ОАО «РЖД» в 2017 году подачи и согласования заявок формы ГУ-12, что в результате привело к ускорению контейнерных отправок.

С 2016 года объемы перевозок грузов пакетами стали уменьшаться по следующим причинам:

- появление более выгодных условий для перевозки контейнерами (для дальних перевозок);
- переориентирование части грузов на альтернативные виды транспорта, в частности автомобильный, в т. ч. по причине обострения проблемы перевозок мелких партий грузов в связи с прекращением эксплуатации среднетоннажных контейнеров [48, 49]. Особенно остро это отразилось на внутрироссийских перевозках.

Основные причины оттока высокодоходных грузов второго и третьего тарифных классов на автомобильный транспорт следующие:

1. Стоимость перевозки. Является одним из важнейших факторов конкурентоспособности. При перевозках на небольшие расстояния («короткопробежные перевозки») тариф железнодорожного транспорта (в расчете на 1 тонно-км) выше, чем тариф автотранспорта. Ключевая проблема заключается в том, что объем низкодоходных грузов становится больше, их доля в погрузке увеличивается, как и дальность их перевозки, а доля высокодоходных грузов и дальность их перевозки уменьшаются [50, 51].

Ситуация, при которой тарифы РЖД индексируются, но доходность не растет соответствующими темпами, объясняется следующим образом: рост тарифной нагрузки «принимают на себя» грузы второго и третьего тарифных классов [52]. Обладая более высокой эластичностью спроса, данные грузы постепенно уходят с железной дороги.

На короткие расстояния себестоимость железнодорожных перевозок возрастает в 4–5 раз, т. к. подобные перевозки осуществляются, как правило,

сборными поездами, имеющими меньшую массу и участковую скорость из-за большого числа остановок на промежуточных станциях, а также высокого удельного веса расходов на начально-конечные операции при подобных перевозках. Кроме того, транспортировка ряда грузов обходится значительно дороже, чем автотранспортом. Так, при доставке продуктов питания железнодорожный транспорт выгоднее автомобильного только на расстояниях, превышающих 4 тыс. км.

2. Определенность срока доставки – второй по значимости факторов при выборе транспорта.

В ряде случаев грузоотправителю нужно не максимально быстро перевести груз, а доставить его точно в срок. Железнодорожный транспорт также предлагает услугу перевозки грузов по расписанию (например, в почтово-багажных вагонах, услуга «Грузовой экспресс»), но преимущественно для массовых грузов, перевозимых маршрутными отправлениями. Развитие получили также перевозки в почтово-багажных вагонах. В связи с переходом на сборные грузы в крупнотоннажных контейнерах, не всегда удастся предсказать точное время его готовности к отправке. На автотранспорте практикуется доставка груза клиенту по графику, и отклонение от него в ряде случаев возможно не более чем на три часа.

3. Способность автотранспорта доставлять грузы «от двери до двери». В случае наличия и у покупателя, и у продавца подъездных путей, железнодорожный транспорт так же, как и автомобильный, может осуществлять доставку в режиме «от двери до двери» [53, 54]. Строительству путей необщего пользования препятствуют достаточно жёсткие условия, предъявляемые при формировании технических условий на примыкание. [55]

Объединить преимущества железнодорожного и автомобильного транспорта способно применение контрейлерных перевозок, однако согласно Прейскуранту 10-01 стоимость контрейлерной перевозки в несколько раз выше перевозки универсального контейнера. [56-59]

4. Скорость доставки. На расстояние до 200 км автомобильным транспортом груз можно доставить в 12 раз быстрее, чем железнодорожно-автомобильным в смешанном сообщении, и в 5 раз быстрее, чем в прямом железнодорожном; на расстояние до 500 км – доставка осуществляется быстрее в 7 и 3 раза соответственно. Однако с увеличением дальности перевозки подобное преимущество автомобильного транспорта теряется.

5. Увеличение максимального расстояния доставки по автодорогам за счёт развития дорожной сети, а также повышение комфорта и надёжности самих автомобилей.

6. Простота и быстрота оформления перевозки автомобильным транспортом. Большинство грузоотправителей жалуются на излишне громоздкую и бюрократическую систему оформления перевозок. Если для массовых грузов этот фактор не является столь значимым, то для грузов, перевозимых мелкими партиями, данный фактор становится решающим.

По данным аналитического бюро Eurostat в прошлом году объёмы перевозки из России в Европу автомобильным транспортом железа и стали увеличились на 16,3% по сравнению с 2016 годом, стекла и изделий из него — на 42,9%, различной химической продукции — на 13%, алюминия и изделий из него — на 7,6%. [60]

Значительное влияние на рост автотранспортного сектора оказали экспансия крупных торговых сетей в регионы и развитие интернет-торговли. Так, в 2017 году X5 Retail Group и сеть «Магнит» продолжили расширяться в восточном направлении, открывая новые магазины в Уральском и Сибирском федеральных округах [61]. По данным Росстата, открытие розничными сетями крупных торговых точек в регионах в 2016 году повлекло за собой всплеск объёма грузооборота в 2017 году.

Владельцы скоропортящихся грузов переориентировались на автодороги. Наиболее показательным с точки зрения переключения грузов с ограниченным сроком потребления стало изменение объёмов перевозок железнодорожным транспортом пива: поставщики начали использовать автомобильный транспорт не

только при перевозке его на расстояние до 1 тыс. км, но и на 2 тыс. км, и на 3 тыс. км.

Если ситуацию не изменить, то РЖД постепенно превратится в перевозчика низкодоходных грузов, а высокодоходные грузы будут «переключаться» на другие виды транспорта. Попытки решить эту проблему при существующей тарифной политике будут не слишком продуктивными: именно высокодоходные грузы второго и третьего тарифных классов, характеризующиеся более высокой эластичностью спроса, легче «переключить» на альтернативные виды транспорта. Для изменения ситуации необходима разработка новой маркетинговой стратегии, включающей два направления деятельности. Первое направление — разработка тарифной политики, т. е. построение тарифов для различных грузов в зависимости от ценовой эластичности спроса на перевозку. Второе направление — разработка транспортных продуктов, адаптированных к тем или иным потребностям грузовладельцев.[31, 63-65]

В настоящей работе рассматривается новый транспортный продукт в виде высокоскоростных перевозок тарно-штучных грузов в транспортных пакетах в перспективном поезде, оснащённом СРСЦТ.

1.2 Анализ зарубежного и отечественного опыта по проектированию и эксплуатации высокоскоростных грузовых поездов

1.2.1 Первые адаптированные высокоскоростные пассажирские поезда для осуществления грузоперевозок

Первый высокоскоростной поезд для перевозки почтовых корреспонденций и посылок в ночное время между Парижем, Маконом и Кавайоном был построен в 1984 году для французской компании La Poste на базе хорошо зарекомендовавшего себя пассажирского поезда TGV. [66, 67] Внешней

отличительной чертой вагона TGV La Poste являлась смещенная ближе к центру дверь. Поезд, как и его пассажирский вариант, состоял из двух локомотивов, находящихся в начале и в конце состава, двух промежуточных трёхосных вагонов (рисунок 1.1а), прицепленных к локомотивам, и шести промежуточных двухосных вагонов (рисунок 1.1б).



Рисунок 1.1 – Промежуточные вагоны TGV

Внутреннее устройство пассажирских вагонов было упрощено (рисунок 1.2) для того, чтобы расположить специальные тележки [68] с грузом (рисунок 1.3). Такая система размещения тележек не требовала специального оборудования на платформах и в поездах.



Рисунок 1.2 – Внутреннее устройство интерьера вагона TGV La Poste



Рисунок 1.3 – Погрузка и размещение специальных тележек в вагон TGV La Poste

На рисунке 1.2 заметно, как вагон делится на сектора Г-образными стойками, между которыми устанавливаются тележки. Фиксация тележек осуществлялась с помощью строп.

Каждый вагон вмещал 31 или 32 тележки, т.е. в сумме 250 тележек с полезной нагрузкой 62 т на один поезд. Относительная малая грузоподъемность объясняется конструктивными особенностями вагонов (например: количеством осей). В таблице 1.3 представлены краткие технические характеристики TGV La Poste:

Таблица 1.3 – Краткие технические характеристики TGV La Poste

Наименование характеристик	Значение
Длина состава (вагона), м	200
Количество вагонов, ед.	8
Кол-во осей в составе, ед.	18
Осевая нагрузка, т:	
с грузом	16,75
без груза	13,3
Грузоподъемность поезда, т:	62

В связи с началом массового использования электронной почты, объёмы перевозок к 2009 году сократились вдвое, а 27 июня 2015 года компания La Poste заявила о прекращении эксплуатации высокоскоростных почтовых поездов [69].

Однако 7 ноября 2018 года итальянский грузовой оператор Mercitalia приступил к выполнению высокоскоростных грузовых перевозок в ночное время между терминалами в Казерте (рядом с Неаполем) и Болонье. Для перевозок используется двенадцативагонный пассажирский высокоскоростной поезд ETR 500, интерьер вагонов которого переделан для размещения в них специальных тележек на колесах с размерами 70x80x180 см (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Интерьер адаптированного под грузоперевозки вагона ETR 500 и технология погрузки специальной тележки

По официальным данным поезд может проходить маршрут протяженностью примерно 600 км за 3ч 30 мин со средней скоростью 180 км/ч. Вместимость грузового поезда ETR 500 эквивалентна вместимости 18 фур. За год высокоскоростные железнодорожные перевозки по этому маршруту позволят

убрать 9000 таких фур с главной национальной магистрали A1, пересекающей Италию с севера на юг.[70]

По внутреннему обустройству вагонов ETR 500 схож с TGV La Poste. Отличительной характеристикой итальянского поезда служит большая чем у TGV грузоподъёмность за счёт наличия у промежуточных вагонов большего количества осей.

1.2.2 Проекты поездов для Eurocarex

Идея проекта заключается в объединении европейских аэропортов с крупными грузооборотами высокоскоростной железнодорожной сети, что позволит перемещать грузы в авиационных поддонах и контейнерах (ULD) на расстояния от 200 до 800 км. (Рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Карта сети Euro Carex

Высокоскоростные поезда заменяют грузовики и среднемагистральные самолеты и отправляются с железнодорожных терминалов, расположенных вблизи международных аэропортов [71, 72].

Доставка гарантируется за 24 ч (экспресс доставка) или 72 ч (обычная доставка) для грузов небольшого объема, но с высокой добавочной стоимостью: скоропортящиеся продукты (например: продовольственные товары, медицинские препараты), опасные вещества, дорогие предметы, которые могут стать объектом кражи (например, компьютерная техника).

При рассмотрении вопроса о подвижном составе сети Euro Carex приняты в расчет два предложения, представленные компаниями Alstom и Siemens.

Согласно этим предложениям максимальная полезная загрузка высокоскоростных грузовых поездов в зависимости от варианта компоновки находится в пределах от 124 до 144 т. Таким образом, один высокоскоростной поезд может заменить как минимум:

- три грузовых самолета типа Airbus A310;
- семь грузовых самолетов типа Boeing B737;
- один грузовой самолет типа Boeing B747-400;
- пять современных грузовых автопоездов.

Должна быть обеспечена возможность одновременной загрузки и разгрузки составов.

В основу предложения Alstom положен существующий высокоскоростной пассажирский поезд TGV POS. Внутреннее оборудование вагона позволяет разместить в нем 4 контейнера либо поддона (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Расположение контейнеров внутри промежуточного вагона

Каждый вагон имеет 2 боковые двери, расположенные с двух сторон в шахматном порядке, что дает возможность одновременной загрузки и разгрузки. (рисунок 1.7)

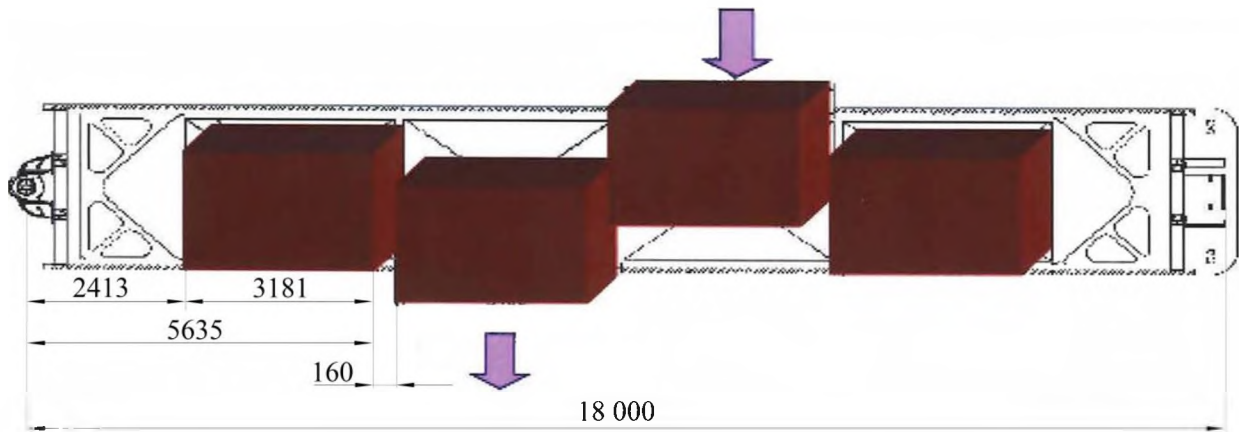


Рисунок 1.7 – Схема погрузки-выгрузки в/из вагона от Alstom

Внутри вагоны оборудованы роликами и шариковыми платформами для загрузки, разгрузки и перемещения контейнеров и поддонов (рисунок 1.8).

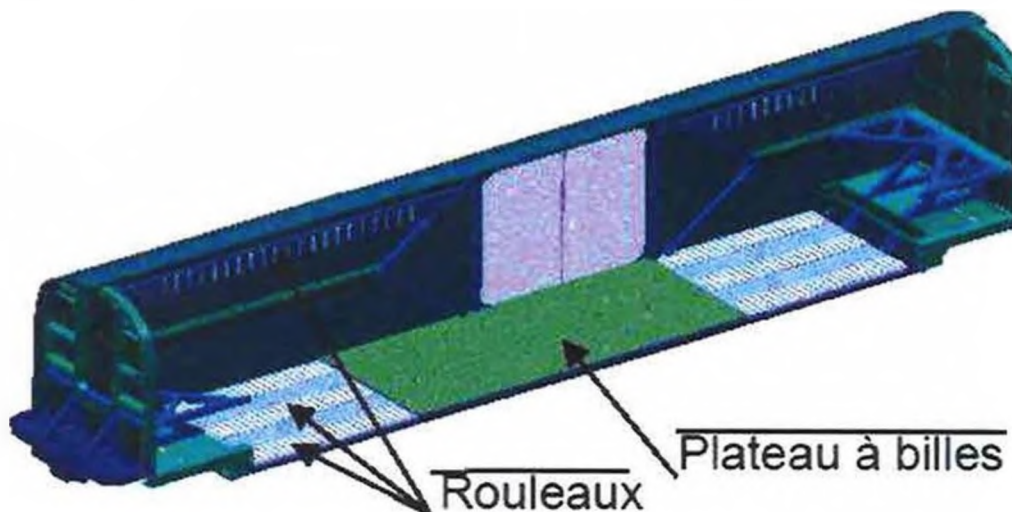


Рисунок 1.8 – Устройство пола вагона от Alstom

Компания Siemens представила проект Velaro Cargo. На рисунке А.1 приложения А представлен эскиз вагонов с предварительными размерами. поезд состоит из 8 вагонов: 2 головных и 6 промежуточных. Промежуточные могут также делиться на стандартные и низкопольные для перевозки контейнеров высотой до трёх метров. Так же как и у TGV двери промежуточных вагонов находятся в шахматном порядке. Головные вагоны имеют меньшую ширину дверей по сравнению с промежуточными вагонами. Грузоподъемность поезда составляет 144 т.

1.2.3 Проект Cargo Train Express (CTX)

Cargo Train Express (CTX) – проект высокоскоростного почтово-багажного поезда, перевозящего высокодоходные грузы со скоростью свыше 300 км/ч между 11 городами [73]. В таблице 1.4 представлены товары, планируемые к перевозке с помощью CTX [74].

Таблица 1.4 – Перевозимые товары в рамках CTX

Вид товаров	Экспортируемые товары	Импортируемые товары	Товары для местного рынка
Наименование товаров	Полупроводниковые материалы	Оборудование для станков	Скоропортящаяся продукция
	Мобильные телефоны	Напитки	Курьерская доставка
	Международная почта	Международная почта	Алкогольная продукция
	Курьерская доставка	Курьерская доставка	Минеральная вода
	Авиационное оборудование	Одежда	Сельскохозяйственная продукция
	Медикаменты	Медикаменты	Медикаменты
	Сельскохозяйственная продукция	Косметика	Косметика
	Товары из пластика	Смешанный груз	Электроника
	Автомобильные запчасти	-	
	Жидкокристаллические дисплеи (LCD)	-	-

У разработчиков проекта существует два варианта размещения грузовых единиц: в один ряд (рисунок 1.9) и в два ряда по 10 ед. в каждом (рисунок 1.10).

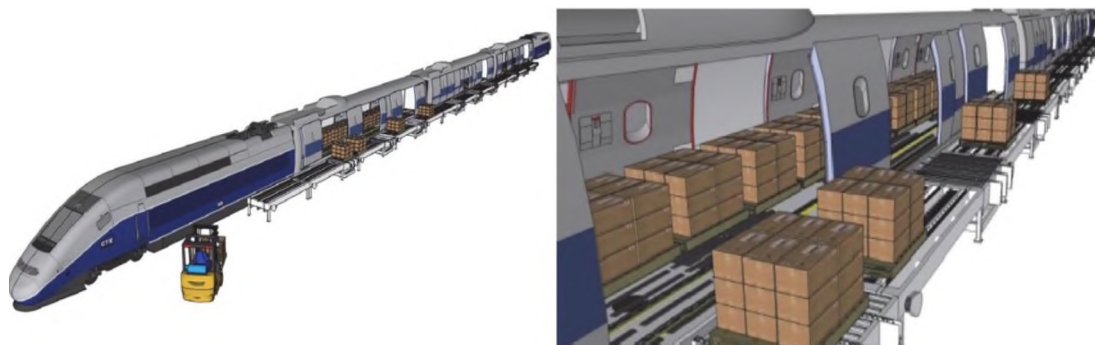


Рисунок 1.9 – Размещение груза в CTX в один ряд

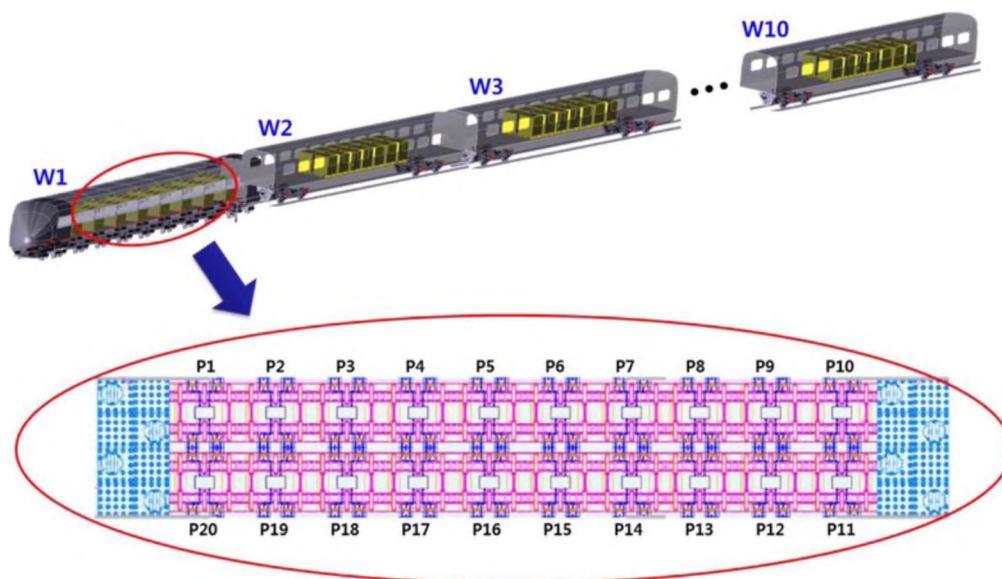


Рисунок 1.10 – Размещение груза в СТХ в два ряда

Основным отличием между однорядным и двухрядным способами размещения грузовых единиц является габариты перевозимых единиц. Применение грузовых единиц меньших размеров уменьшает потребность в дополнительном разукрупнении, что ведет к уменьшению времени доставки груза.

1.2.4 Поезд нового поколения

Исследователи из Германского центра авиации и космонавтики представили масштабный проект инновационного локомотива для грузовых поездов New Generation Train (NGT CARGO) [75, 76].

NGT CARGO будут состоять из отдельных грузовых вагонов и высокопроизводительных локомотивов. Каждый отдельный вагон имеет встроенный двигатель с более низкой производительностью, а также дополнительный источник энергии, что дает возможность формировать и расформировывать составы без использования маневровых локомотивов и персонала. Вагоны и локомотивы соединены между собой автосцепным

устройством, передающим как тяговые усилия, так и электроэнергию и сигналы с датчиков.

NGT CARGO сочетает в себе распределение отдельных вагонов до их конечного пункта назначения с низкими затратами на персонал и высокую скорость доставки. Целый ряд автопогрузчиков будет автоматически загружать и разгружать вагоны на открытых складах и в централизованных логистических центрах. Эта система позволит транспортировать даже небольшие объемы дорогостоящих или срочных товаров по мере необходимости и по конкурентной цене (рисунок 1.11)

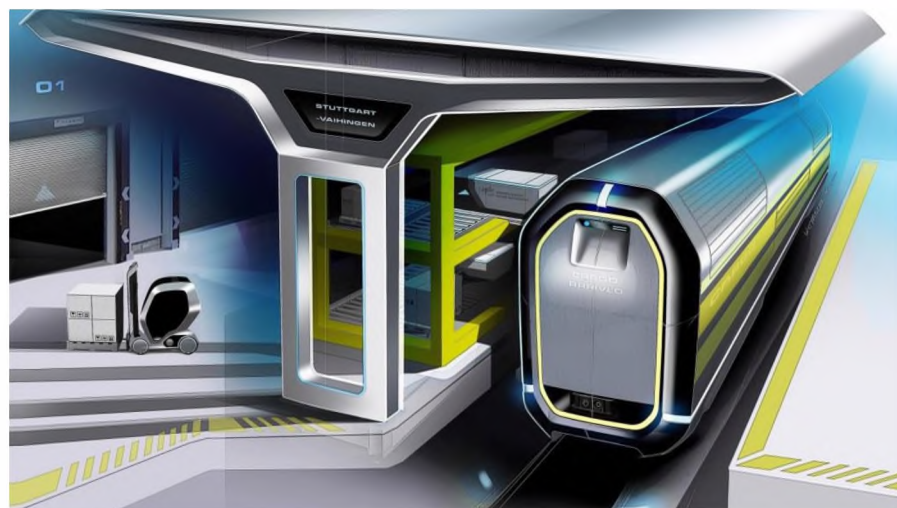


Рисунок 1.11 – NGT CARGO

1.2.5 Проектируемый грузовой поезд для России

По официальным данным проектных организаций [77,78], занимающихся проектными изысканиями для ВСМ-2 «Москва-Казань» грузовым высокоскоростным поездом является адаптированный для грузоперевозок китайский пассажирский моторвагонный подвижной состав для скоростей движения до 350 км/ч, который обеспечит выполнение заявленных российской стороной технических требований, предъявляемых к моторвагонному подвижному составу (МВПС). Основное предназначение – транзит интернет-покупок из Китая в Европу.

Предусматривается перевозка грузов при постоянной температуре.

В таблице 1.5 приведены краткие характеристики высокоскоростного грузового поезда:

Таблица 1.5 – Краткие технические характеристики

№ п/п	Показатель	Значения показателей
1	Максимальная скорость, км/ч	250
2	Основная составность, вагонов	12
3	Длина поезда в основной составности, м	300
4	Дополнительный вариант составности, вагонов	8; 16
5	Возможность эксплуатации по системе многих единиц, вагонов	8+8
6	Максимальная длина поезда при соединении двух поездов по системе многих единиц, м	400
7	Номинальная статическая осевая нагрузка, т	17
8	Диапазон рабочих температур, °С	от минус 50 до + 40
9	Габарит подвижного состава	Т по ГОСТ 9238 (верхнее очертание по линии 1-а-а1-а2)
10	Длина головного вагона по осям	26 764

№ п/п	Показатель	Значения показателей
	сцепок, мм	
11	Длина промежуточного вагона по осям сцепок, мм	24 200
12	Ширина вагона, мм	3 360
13	Высота пола от уровня головки рельса, мм	1 260
14	Высота вагона по крыше (без токоприёмника и оборудования), мм	4050

В пассажирском высокоскоростном поезде планируется подвергнуть изменению следующие элементы поезда:

- увеличение несущей способности кузовов вагонов, дверей, полов за счёт упрочнения их конструкций;
- увеличение проемов дверей для удобства осуществления погрузо-разгрузочных работ;
- отделка стен грузовых вагонов панелями из пористого алюминия;
- установка осветительных приборов на потолке в центре вагонов;
- полы вагона устилаются листами из нержавеющей стали с противоскользящим эффектом, в грузовой зоне устанавливаются стеллажи для груза;
- предусматривается добавление устройства, которое определяет порожний вагон или с грузом;
- оптимизируется внутреннее оборудование вагонов;
- предусматривается оснащение устройством автоматического отслеживания вагонов и связи с диспетчерским пунктом, а также оснащение устройством автоматической балансировки и распределения нагрузки.

В дальнейшем при необходимости возможна модернизация грузовых высокоскоростных поездов в части увеличения максимальной скорости движения и увеличения тяговой мощности путем замены компонентов оборудования при условии сохранения общей концепции грузового высокоскоростного поезда.

Грузоподъемность высокоскоростного грузового поезда приведена в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Грузоподъемность высокоскоростного грузового поезда

Варианты составности	Грузоподъемность поезда, т	Масса тары поезда, т	Масса поезда с грузом, т
12 вагонов	182 (230)	630	812 (860)
8 вагонов	120 (150)	420	540 (570)
8+8 вагонов	240 (300)	840	1080 (1140)

С учетом отсутствия на грузовом поезде пассажиров и обеспечения максимальной нагрузки 17 т/ось общая грузоподъемность поезда составит 182, 120 и 240 т, а масса поезда с грузом – 812, 540 и 1080 т соответственно.

Повышение грузоподъемности поезда до 230, 150 и 300 т и, соответственно, массы поезда с грузом до – 860, 570 и 1140 т возможно путем перераспределения груза по вагонам в зависимости от массы тары вагонов, что может быть сделано на этапе эскизного проектирования.

В настоящий момент нет окончательного проекта устройства интерьера грузового вагона, тары, и способа ее крепления.

Идея предложить СРСЦТ возникла после ознакомления с технологией размещения груза в поезде СТХ [80], поэтому настоящее исследование основано на подходе, предложенном корейскими инженерами. Далее в работе подробнее описана модель решения проблемы погрузки экспериментального поезда СТХ, проходящего через ряд промежуточных остановочных пунктов для осуществления частичной погрузочно-разгрузочной работы.

1.3 Анализ зарубежного опыта по методу погрузки перспективного высокоскоростного грузового поезда

Среди существующих проектов высокоскоростных грузовых поездов только для СТХ предложена технология по оптимизации погрузки с целью повышения безопасности движения поезда, а также ускорения погрузочно-разгрузочных работ [80]. В подразделе подробно рассмотрен корейский опыт по размещению перевозимых грузовых единиц.

1.3.1 Описание проблемы и математическая модель

Рассматривается поезд, состоящий из нескольких m вагонов. На примере рисунка 1.10 поезд состоит из 10 вагонов ($W_1, W_2, \dots, W_{10}$). Пол вагонов разделен на два ряда, и в каждом ряду находится 1 ULD (на рисунке 1.9 изображена модель, где их может поместиться 20 единиц).

Каждый вагон имеет предельное значение грузоподъемности (C_i) и предельную вместимость количества ULD (D_i). Существует n ULD, которые нужно погрузить в поезд. Вес ULD будем обозначать (W_k), станцию погрузки (l_k), станцию выгрузки (d_k).

На имеющемся примере (рисунок 1.12) рассматривается маршрут Пусан – Инчон, состоящий из трёх промежуточных остановочных пунктов: Тэгу, Тэджон, Сеул.

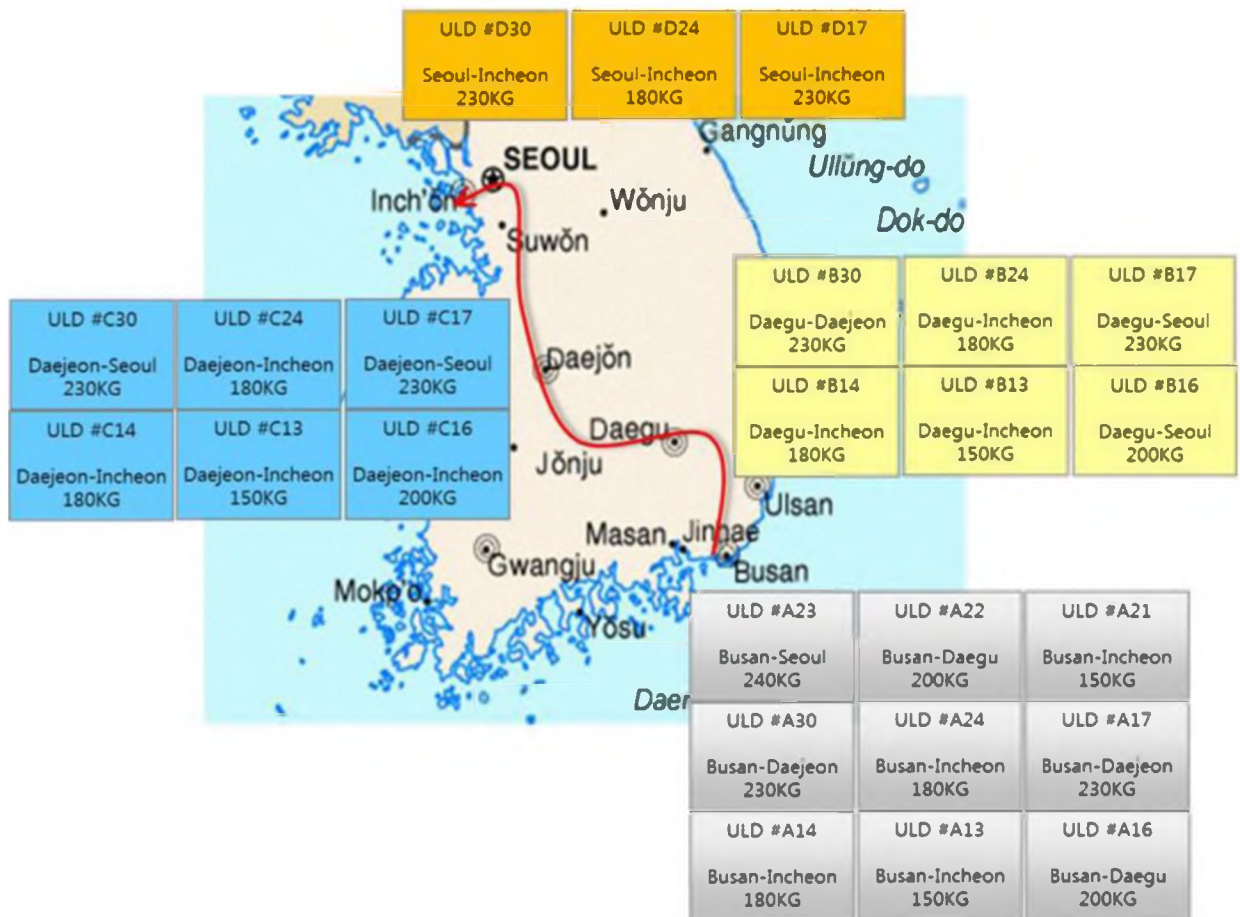


Рисунок 1.12 – Маршрут CTX

В Пусане погружаются девять ULD, идентификационные номера (ID) которых начинаются с #A, имеющие разный вес и пункты выгрузки. Из Тэгу отправляются шесть ULD, ID которых начинаются с #B. Подобным образом в Тэджоне погружаются шесть, в Сеуле – три. По прибытии в Тэджон необходимо выгрузить три ULD.

Цель – оптимально расположить ULD в поезде с учётом того, что на протяжении всего маршрута схемы расположения будут постоянно варьироваться. Поэтому целесообразно распланировать размещение ULD до отправления поезда.

Для оптимального расположения ULD необходимо решить три задачи, которые описаны целевой функцией:

1. Распределение между вагонами. Разница массы вагонов $W_1, W_2, \dots, W_{10}$ минимальна.

2. Распределение между передней и задней частями вагона. Разница массы грузов на местах P1-P5, P16-P20 и P6-P15 должна быть минимальна (Рисунок 1.9). Если вагон вмещает 20 ULD, то баланс между передними 10 ULD и задними 10 ULD должен быть соблюден.

3. Распределение между левой и правой частями вагона. Разница массы грузов на местах P1-P10 и P11-20 должна быть минимальна. Если вагон вмещает 20 ULD, то баланс между левыми 10 ULD и правыми 10 ULD должен быть соблюден.

Проблема состоит в комбинировании разбиений четырёх множеств (т.к. вагон разделен на четыре части: переднюю, заднюю, левую, правую). Даже если рассматривать один перегон, проблема может быть сужена к задаче разбиения множества чисел k , которая все равно является NP-трудной, когда k больше или равно 3. [81-83]

Определены следующие дополнительные параметры:

- S_k – количество станций погрузки, которое k ULD проезжают мимо, находясь в вагоне и равны $[l_k, d_k]$;
- T_k – количество вагонов, в которых k ULD можно загрузить;
- A_1, A_2 и A_3 – весовые коэффициенты целевой функции;
- F и B – количество позиций в передней и задней частях вагона;
- L и R – количество позиций в левой и правой частях вагона.

Применяемые переменные:

- y_s и z_s – максимальное и минимальное значение масс вагонов на станциях s ;
- u_{is} и v_{is} – максимальное и минимальное значение масс передней и задней частей вагона i на станции s ;
- p_{is} и q_{is} – максимальное и минимальное значение масс левой или правой частей вагона i на станции s ;
- $x_{ijks} = 1$, если k ULD размещен на позиции j вагона i на станции s , иначе $x_{ijks} = 0$.

Модель выглядит следующим образом:

$$F = A_1 \sum_s (y_s - z_s) + A_2 \sum_s \sum_i (u_{is} - v_{is}) + A_3 \sum_s \sum_i (p_{is} - q_{is}) \rightarrow \min, (1)$$

при:

$$\sum_i \sum_j x_{ijks} = 1, \quad \forall k, s \in S_k \quad (2)$$

$$\sum_k x_{ijks} \leq 1, \quad \forall i, j, s \quad (3)$$

$$\sum_j x_{ijks} = \sum_j x_{ijk(s+1)}, \quad \forall k, i \in T_{k,s} \in S_k / (d_k - 1) \quad (4)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ijks} \leq D_i, \quad \forall i, s \quad (5)$$

$$\sum_j \sum_k W_k x_{ijks} \leq C_i, \quad \forall i, s \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_k W_k x_{ijks} \leq y_s, \quad \forall i, s \quad (7)$$

$$\sum_j \sum_k W_k x_{ijks} \geq z_s, \quad \forall i, s \quad (8)$$

$$\sum_{j \in F \text{ or } B} \sum_k W_k x_{ijks} \leq u_{is}, \quad \forall i, s \quad (9)$$

$$\sum_{j \in F \text{ or } B} \sum_k W_k x_{ijks} \geq v_{is}, \quad \forall i, s \quad (10)$$

$$\sum_{j \in L \text{ or } R} \sum_k W_k x_{ijks} \leq p_{is}, \quad \forall i, s \quad (11)$$

$$\sum_{j \in L \text{ or } R} \sum_k W_k x_{ijks} \geq q_{is}, \quad \forall i, s \quad (12)$$

$$x_{ijks} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k, s \quad (13)$$

Первым условием целевой функции (1) является сумма разниц между максимальным и минимальным значениями масс вагона на всех станциях. Второе условие есть сумма разниц между максимальным и минимальным значениями масс передней и задней частями каждого вагона, третье – сумма разниц между максимальной и минимальной значениями масс левой и правой частями каждого вагона.

Условия (2) и (3) обеспечивают нахождения каждого ULD на позиции между l_k и d_k , на каждой позиции может быть размещен только один ULD. Равенство (4) обозначает, что размещенный в вагоне ULD нельзя переместить в другие вагоны, пока поезд не прибудет на станцию его выгрузки. Условие (5) показывает, что количество ULD в вагоне не должно превышать его вместимость. Условие (6) не позволяет превысить общей массы грузов грузоподъемности вагона. Условия (7) и (8) направлены на выявление максимального и минимального веса вагона на каждой станции. Таким же образом Условия (9) – (12) выявляют максимальные и минимальные показатели частей вагонов на каждой станции.

Предлагаемый метод способен решить проблему распределения нагрузки от массы перевозимого груза в два этапа:

Этап 1 – Распределение груза по вагонам.

Этап 2 – Размещение груза в каждом вагоне.

В таблице 1.7 построена базовая структура предложенного алгоритма.

Таблица 1.7 – Структура алгоритма размещения грузов

Шаг 1: Основа
1 Группировка груза по маршруту следования
2 Распределение груза по вагонам по весовому показателю
3 Размещение груза внутри вагонного пространства
Шаг 2: Первая оптимизация
4 Перестановка ULD между вагонами
Шаг 3: Вторая оптимизация
5 Перестановка ULD в вагонном пространстве

В Шаге 1 мы выстраиваем допустимое решение, используя три последовательных алгоритма. Первые два алгоритма распределяют ULD по вагонам, а третий определяет позиции ULD в каждом вагоне. В шагах 2 и 3 мы проводим оптимизацию путем замены мест расположения ULD сначала между вагонами, затем между частями вагона.

Алгоритм 3 является заключительным в шаге 1 и применяется с последующими оптимизационными алгоритмами 4 и 5.

Предположим, что даны n ULD для загрузки в конкретный вагон, которые необходимо разместить. Сначала делим данные ULD на 4 группы равномерно насколько это возможно и размещаем каждую группу в частях вагона: слева спереди (LF), слева сзади (LB), справа спереди (RF), справа сзади (RB). Далее определяется местонахождение каждой группы в соответствии со строкой 6 таблицы 1.8. Это один из способов минимизировать разницу в массе между передней и задней, левой и правой частями вагона.

Таблица 1.8 – Псевдокод алгоритма разбиения (этап 2)

1	Распределить ULD в порядке убывания их веса
2	For каждого ULD в вагоне
3	Расположить 4 группы в порядке возрастания в соответствии с их весом
4	Распределить ULD из общего списка по группам (сначала распределяются самые тяжелые в каждую группу)
5	Endfor
6	Поместить самую тяжелую группу вперед слева Поместить вторую по тяжести группу сзади справа Поместить третью по тяжести группу сзади слева Поместить самую лёгкую группу вперед справа

В алгоритме разбиения на 4 части все ULD сортируются в порядке убывания в соответствии с массой каждой части. Далее каждая группа размещается в одну из частей вагона (LF, LB, RF, RB).

1.3.2 Подход к сортировке ULD по группам перед погрузкой в вагоны

Перед тем, как распределить ULD по вагонам, необходимо иметь ясное представление о начальных и конечных пунктах следования груза. На Рисунке 1.13 представлен пример следования грузов по маршруту. В этом примере даны пять станций от А до Е и шесть ULD одинакового веса. Предполагается, что груз будет размещен в четырех вагонах.

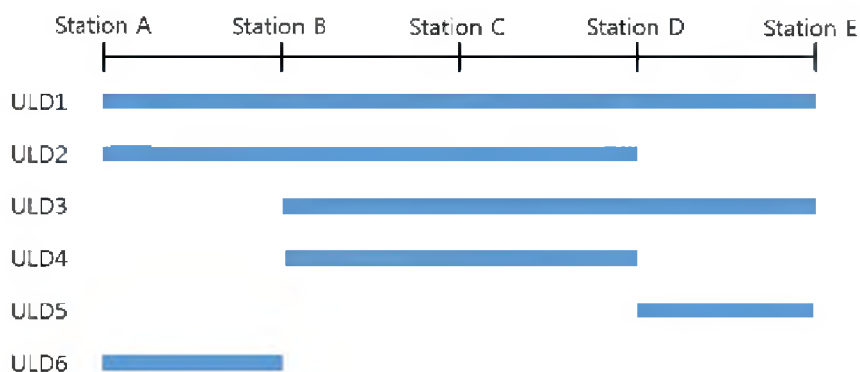


Рисунок 1.13 – Изображение задачи

На рисунке видно, что пункты назначения одних ULD совпадают с пунктами отправления других. Например: ULD2 и ULD5, ULD3 и ULD6. Для обеспечения максимального равновесия между вагонами, экономии времени погрузки-разгрузки, а также ресурса механизмов, контейнеры объединяют в группы, которые будут перевозиться в определенных вагонах. В нашем примере группы будут следующие:

вагон 1: ULD 1

вагон 2: ULD 2, ULD5

вагон 3: ULD 3, ULD6

вагон 4: ULD4

В ситуациях, когда массы ULD различны, предлагаемый алгоритм объединяет ULD со схожими массами.

В таблице 1.9 схематично изображен алгоритм распределения груза по вагонам. Алгоритм формирует группы из ULD по дальности следования. В строках 3-13 описывается распределение ULD по группам в направлении "туда". Процедура повторяется до тех пор, пока станция выгрузки группы не становится последней, или пока не останется ни одного ULD, чья станция погрузки совпадет со станцией выгрузки группы. Строки 14-21 описывают распределение в направлении "обратно". Процедура также повторяется, пока станция загрузки группы является первой станцией или пока не останется ни одного ULD, чья станция выгрузки будет такой же, как станция погрузки группы. Далее группы распределяются по вагонам с помощью алгоритма 2. Перед тем как разместить ULD на выбранные позиции в вагон, алгоритм 4 взаимно заменяет ULD из других вагонов для проверки на лучший результат. По получении наилучшего результата все ULD назначаются по вагонам.

Таблица 1.9 – Псевдокод алгоритма распределения ULD между вагонами

1	Сортировать ULD в порядке убывания по дальности следования и массе
2	Repeat
3	Выбрать ULD a_0 (первый по списку)
4	Включить a_0 в группу

5	s_u = пункт выгрузки a_0
6	w_a = масса a_0
7	Repeat
8	Выбрать ULD, a_1 , чей пункт погрузки будет также s_u , масса которого будет наиболее схожа с w_a и чья дальность следования наибольшая
9	If таких ULD нет, then break
10	Включить a_1 в группу
11	s_u = пункт выгрузки a_1
12	w_a = средний вес группы
13	Until s_u будет являться последним пунктом или пока не закончатся все ULD в перечне
14	s_l = пункт погрузки a_0
15	Repeat
16	Выбрать ULD, a_2 , чья станция выгрузки такая же как s_l , масса которого будет наиболее схожа с w_a и чья дальность следования наибольшая
17	If таких ULD нет, then break
18	Включить a_2 в группу
19	s_l = станция загрузки a_2
20	w_a = средний вес группы
21	Until s_l будет являться последним пунктом или пока не закончатся все ULD в перечне
22	Until не закончатся все ULD в перечне
23	Разместить выделенные группы по вагонам с помощью алгоритма 2
24	Произвести оптимизацию с помощью алгоритма 4
25	Разместить ULD на позиции в каждом вагоне согласно Алгоритму 3
26	Return x_{ijks}

1.3.3 Подход к размещению групп ULD по вагонам

С помощью следующего алгоритма возможно разместить сформированные группы по вагонам для того, чтобы по возможности соблюсти оптимальность как по дальности маршрута, так и массы групп ULD.

Вначале ULD в группы сортируются в порядке убывания по дальности следования и массе. При движении по направлению «туда», группы располагаются в прямом порядке, и по направлению «обратно» – в обратном.

Рассмотрим пример с трёхвагонным составом с нумерацией вагонов 1, 2, 3: при его следовании направлении «туда», в первый вагон определяем группу с наиболее длинным пробегом и самую «тяжелую», вторую – во второй вагон, соответственно третью – в последний. При движении в обратном направлении располагаем группы среди оставшихся в обратном порядке: с наиболее длинным пробегом и самую «тяжелую» в третий вагон и т.д. Алгоритм повторяет вышеописанные процедуры, пока все группы не распределятся (см. Таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Псевдокод алгоритма распределения ULD внутри вагона

1	Расположить группы в убывающем порядке по дальности маршрута и массе
2	For каждой группы i в порядковом списке
3	If проходит нечётный круг, then
4	Назначить i в вагон в прямом порядке
5	Elseif проходит четный круг, then
6	Назначить i в вагон в обратном порядке
7	Endif
8	Endfor

После того как ULD распределены по вагонам, следует приступить к размещению их внутри каждого вагона согласно п. 1.4.2.

1.3.4 Подход по оптимизации распределения ULD по вагонам

На первом этапе оптимизации используется алгоритм 4 (таблица 1.7) где структура), с помощью которого мы меняем местами ULD между вагонами с целью проверки на улучшение показателей. После завершения оптимизации ULD можно размещать в каждом вагоне посредством алгоритма 3. Благодаря данному способу возможно уменьшить количество перестановок, которые впоследствии могут уменьшить время вычисления алгоритма.

В таблице 1.11 подробнее описывается оптимизационный алгоритм. Вначале выбираются два ULD и взаимозаменяются, при соблюдении условий в

п. 1.3.1. Далее происходит размещение внутри каждого вагона в соответствии с Алгоритмом 3. Если расположение ULD оптимально, алгоритм заканчивается, в противном случае замена отменяется.

Таблица 1.11 – Псевдокод алгоритма оптимизации положения ULD между вагонами

1	Repeat
2	For каждого ULD i и j в перечне
3	If возможно поменять местами ULD, then
4	Поменять местами 2 ULD
5	Разместить на позиции согласно алгоритму 3
6	If целевое значение новой позиции приводит к оптимизации, then
7	Принять изменение и break
8	Endif
9	Endif
10	Endfor
11	Until не найдется решений для оптимизаций

1.3.5 Алгоритм «Имитация отжига» для оптимизации размещения ULD внутри вагона

Алгоритм «Имитация отжига» (алгоритм 5, см. таблицу 1.8) хорошо известен и широко применяется в эвристических методах.[84-88]. Он был успешно применен во многих комбинаторных NP-полных задачах. Данный алгоритм достаточно эффективен при использовании его в сочетании с алгоритмом 3. Происходит взаимозамена двух ULD внутри каждого вагона. Результаты алгоритма 5 принимаются, если они выгодны или не выгодны с вероятностью $e^{\frac{\Delta obj}{q}}$, где Δobj является улучшением целевой функции и q – показатель степени случайности принятий улучшений. В случае, если улучшения произошли $\Delta obj > 0$, иначе получается отрицательное значение. Алгоритм прекращается, когда итерация достигает $t_{\max}$, которая обозначает максимальное

количество итераций. В каждой заданной итерации q уменьшается фактором c .
 Подробней алгоритм 5 представлен в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Применение алгоритма «имитация отжига»

1	Repeat
2	Произвольно выбрать ULD i и j из перечня
3	If возможно поменять местами два ULD, then
4	Поменять два ULD местами
5	Разместить на позиции ULD с помощью алгоритма 3
6	If новое размещение после изменений оптимально, then
7	Одобрить замену и break
8	Else
9	Одобрить замену с вероятностью $e^{\frac{\Delta obj}{q}}$ и break
10	Endif
11	Endif
12	If новое размещение превосходит предыдущее
13	Обновить предыдущее размещение
14	Endif
	Уменьшение значения q фактором c в данной итерации
15	Until итерация достигнет $t_{\max}$

1.3.6 Заключительные положения

Предложенный метод способен эффективно решать задачи по размещению грузовых единиц в проектируемом высокоскоростном грузовом поезде СТХ, обеспечивая равномерное распределение массы перевозимого груза (в соответствии с п.1.2.3) как между вагонами, так и внутри каждого вагона.

Тем не менее автором диссертации отмечены следующие стороны, на которые целесообразно обратить внимание при применении разработанной модели в реальных условиях, а также при дальнейшем увеличении скоростей движения и масс поездов:

- не принимаются во внимание случаи, когда невозможно обеспечить равенство загрузки вагонов (при наличии небольшого количества перевозимых

грузов), существует риск появления недопустимо лёгкого вагона в середине поезда;

- вместо сравнения разницы между левой и правой, передней и задней частями вагона существует более упрощенный способ поиска оптимального центра масс перевозимых грузов.

1.4 Выводы к главе

1. Анализ перевозок грузов железнодорожным и автомобильным видами транспортов позволил сделать вывод, что, при текущем развитии логистики автомобильных грузоперевозок и отсутствии реакции у менеджмента холдинга ОАО «РЖД» и государственной поддержки, железнодорожный транспорт рискует лишиться перевозок высокодоходных грузов на расстоянии в среднем до 4000 км.

Основным доходом железнодорожной отрасли становятся перевозка массовых грузов, а также транзитные контейнерные перевозки.

2. Рассмотрен международный опыт эксплуатации и проектирования высокоскоростных грузовых поездов. Несмотря на наличие масштабных проектов применения высокоскоростных грузовых поездов (Eurocarex, NGT Train, Cargo Train eXpress, ВСМ «Евразия»), в мире существует только два факта их эксплуатации для почтово-багажных перевозок (поезда TGV La Poste для компании La Poste и ETR 500 для компании Mercitalia).

3. Проанализирован метод размещения грузовых единиц в проектируемом высокоскоростном поезде Cargo Train eXpress (CTX), перевозящем высокодоходные грузы в транспортных пакетах (одинаковых по габаритам, но разных по весу), совершающем частичные погрузки-разгрузки на промежуточных остановочных пунктах. Цель метода: разместить грузовые единицы так, чтобы на протяжении всего маршрута следования минимизировать разницу в весе между

вагонами и внутри каждого вагона (между левой и правой и между передней и задней частями вагона).

Отмечены стороны, на которые целесообразно обратить внимание при применении разработанной модели в реальных условиях, а также при дальнейшем увеличении скоростей движения и масс поездов:

- не принимаются во внимание случаи, когда невозможно обеспечить равенство загрузки вагонов (при наличии небольшого количества перевозимых грузов), существует риск появления недопустимо лёгкого вагона в середине поезда;

- вместо сравнения разницы между левой и правой, передней и задней частями вагона существует более упрощенный способ поиска оптимального центра масс перевозимых грузов.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЦЕНТРОВКИ ВАГОНА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

2.1 Анализ средств выполнения погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов в транспортных пакетах на различных видах транспорта

Тарные и штучные грузы могут предъявляться к перевозке в пакетированном виде с использованием средств укрупнения грузовой единицы. Это могут быть различного вида поддоны (см. Приложение Б), а также другие средства пакетирования (многооборотные стропы, ленты, сетки и др.).

В соответствии с Правилами перевозок железнодорожным транспортом грузов мелкими отправлениями, масса одного грузового места (непакетированного и пакетированного, размещаемого на поддоне или на подкладках) должна составлять для грузов, перевозимых в крытом вагоне, – не менее 20 кг и не более 1500 кг. [89]

Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов, перевозимых в крытых вагонах, крупнотоннажных контейнерах, автофургонах, и для их перемещения в закрытых складах используются малогабаритные погрузчики.

Основными техническими характеристиками таких погрузчиков являются:

- грузоподъемность, которая может быть 0,5; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6 т (таблица 1.7);
- высота складирования груза – ограничивается внутренней высотой крытого вагона, крупнотоннажного контейнера, автофургона, склада;
- габаритные размеры и минимальный радиус поворота – для свободного маневрирования и прохода в двери складов, вагонов, внутрь контейнера;
- наличие сменных грузозахватных приспособлений (вилы, клещи, плоские боковые прижимы и др.);

- наличие сменных электрических батарей для работы в автономном режиме до 8 часов.

В таблице 2.1 представлены основные технические характеристики малогабаритных погрузчиков.

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики малогабаритных погрузчиков

Показатель	ЭП-103КО	ЭП-1616	ЭП-2016	02-7FD10	02-7FD15
Грузоподъемность, кг	1000	1600	2000	1000	1500
Расстояние от центра тяжести до стенки вил, мм	500	450	500	500	500
Максимальная высота подъема, мм	3300	4500	2900	–	–
Масса, кг	2350	2950	3700	–	–
Габаритные размеры, мм:					
длина	1860	3015	2040	2210	2245
высота	2105	2120	1995	2030	1930
ширина	950	1060	110	1045	1070
Скорость подъема, м/мин	12	27	17,4	–	–
Скорость передвижения с грузом, км/ч	9	11	9	–	–
Двигатель	электрический			дизельный	

Выгрузку пакетов из вагонов и формирование штабеля проводит бригада в составе двух-трех человек: двух водителей-погрузчиков и при необходимости одного рабочего для выполнения вспомогательных операций. Вагон подают к месту проведения грузовых операций и затормаживают башмаками. Для въезда погрузчика внутрь вагона укладывают трап. После открытия двери вагона рабочий удаляет средства крепления и при заполнении свободного объема в междверном пространстве отдельными штучными грузами формирует из них пакеты на порожних поддонах по схемам укладки груза. [90]

Пакеты выгружают в следующей последовательности: сориентировав вилы погрузчика (при необходимости с помощью приспособлений), следует ввести их в проемы поддона и плавно подъехать к пакету до упора в его торец; приподнять

пакет и наклонить грузоподъемную раму назад; транспортировать взятый на вилы пакет в склад на высоте не более 300 мм над полом склада.

Грузовые операции над рассматриваемыми грузовыми единицами, перевозимыми на автомобильном транспорте, производятся в соответствии с [91].

На основании [92] скорость погрузки (выгрузки) одного грузового места погрузчиком в среднем составляет 3 минуты. Нормами учтено время на подготовительно-заключительные работы, обслуживание рабочего места, технологические перерывы, предусмотренные технологией погрузки-выгрузки грузов, отдых и личные надобности.

Перевозку пакетов авиационным транспортом можно осуществлять как с использованием авиационных поддонов (ULD), так и без них, отдельными грузовыми единицами. На аэродром ULD доставляют автомобильным или железнодорожно-автомобильным транспортом. Погрузку проводят непосредственно из автомашин с помощью штатного тельфера, либо при помощи погрузочного дока, пол которого оснащен приводными валами [93]. Внутри самолета контейнеры (поддоны) перемещают в горизонтальной плоскости приводными роликами (с электрическим приводом) или лебедкой. Пакеты внутри грузового отсека самолета крепят также штатными средствами [94-96].

Транспортировочное оборудование самолета должно состоять из напольных транспортеров следующих типов[97,98]:

I – роликовые дорожки для перемещения контейнеров и поддонов вдоль фюзеляжа летательного аппарата;

II – роликовые настилы с поворотными роликами для изменения направления перемещения контейнеров и поддонов в летательном аппарате;

III – шариковые настилы для изменения направления перемещения контейнеров и поддонов в летательном аппарате.

Некоторые требования к транспортировочному оборудованию:

- фиксирующие устройства должны состоять из боковых направляющих (рельсов, роликов, упоров) и швартовочных замков;

- боковые направляющие должны обеспечивать ориентирование и удерживание контейнеров и поддонов в боковом направлении и не мешать свободному перемещению их в продольном направлении при погрузке и выгрузке;

- скорость перемещения контейнеров (поддонов) по напольному транспортеру должна быть не более 0,3 м/с;

- ресурс конструкции встроенных узлов для крепления съемного оборудования должен быть равным ресурсу летательного аппарата.

Различия технологий выполнения погрузочно-разгрузочных работ определяется условиями, в которых работает тот или иной вид транспорта, а также характеристикой перевозимых грузовых единиц.

Так, несмотря на многолетнюю практику работы погрузчика, норма времени на совершение одной погрузочно-разгрузочной операции считается автором слишком продолжительной для применения её к перспективному высокоскоростному поезду. Необходим поиск новых решений.

Рассматривая такой поезд, следует выделить основные требования к погрузочно-разгрузочным операциям:

- скорость выполнения;
- автоматизированность;
- надежность.

В качестве возможного варианта предлагается рассмотреть применение в вагоне транспортировочного оборудования, применяемого в авиационном транспорте.

2.2 Анализ грузовых единиц для осуществления грузоперевозок в вагонах высокоскоростного поезда

Концепция организации грузовых перевозок высокоскоростными грузовыми поездами должна опираться на обеспечение минимальных сроков доставки от момента принятия груза к перевозке до момента его выдачи грузовладельцу. Поэтому на первый план выходит предельная минимизация продолжительности технологической обработки груза на транспортно-логистических терминалах (ТЛТ) в пунктах отправления, прибытия, возможной перегрузки в пути следования и пограничных пунктах.[99]

При разработке технологии погрузочно-разгрузочных работ для перспективных высокоскоростных поездов необходимо на всех этапах обеспечивать максимальную механизацию, автоматизацию и роботизацию грузопереработки типовой транспортной тары.

Общие требования, предъявляемые к транспортной таре:

- максимально эффективное использование грузоподъемности и грузовместимости подвижного состава;
- обеспечение грузопереработки различными средствами механизации;
- унификация габаритных размеров грузовых мест для эффективного размещения тары в автомобилях и в перспективном высокоскоростном подвижном составе стран Европы и Азии;
- обеспечение сохранности груза при транспортировке и перегрузке;
- свободная идентификация грузового места всеми используемыми на сети грузовых ВСМ технологиями на всем протяжении транспортировки груза от начала формирования грузового места до его расформирования.

Технология погрузки и разгрузки высокоскоростного грузового подвижного состава должна отвечать следующим требованиям и обеспечивать:

- минимальную продолжительность нахождения грузов на ТЛТ;
- сохранность груза, включая его качественные параметры;

- высокий уровень цифровизации всех технологических процессов от момента возникновения намерений перевозки у грузоотправителя до выдачи груза грузополучателю;

- рациональное размещение и надежное крепление грузов в подвижном составе, в соответствии с нормативными условиями сопредельных государств-участников перевозок.

Обеспечение приведенных требований, по мнению автора, возможно благодаря применению малотоннажных контейнеров. Прежде всего, за счёт скорости их обработки в ТЛТ:

- минимальная вероятность возникновения потребности в разукрупнении груза;

- более легкий вес относительно средне- и крупнотоннажных контейнеров позволяет использовать широкий ряд средств механизации, автоматизации и роботизации транспортировки тары;

- совместим с большинством кузовов грузового автомобильного транспорта.

К грузовым единицам, перемещаемым с помощью предложенного механизма, представлены следующие требования:

- размещение в вагоне в два ряда;

- размеры грузовых единиц должны быть унифицированы в целях применения единой технологии фиксации пакета;

- грузовая единица должна формировать единый грузовой штабель, помещающийся в дверной проём;

- грузовые единицы должны иметь плоское основание для перемещения с помощью перекрестных транспортеров.

Для поиска подходящего типа и размера транспортной тары в работе рассматриваются наиболее распространенные в Российской Федерации транспортные тары для перевозок тарно-штучных грузов автомобильным и другими видами транспорта:

- анализируются эксплуатационные характеристики тар;

- определяется наиболее подходящий вид, размер тары с учётом требований для высокоскоростного поезда, оснащенного системой регулирования смещения центра тяжести вагона.

Для более точного сопоставления эксплуатационных характеристик транспортной тары и подвижного состава, в таблице 1.5 приведены проектные технические характеристики вагона.

Согласно таблице 1.5 размер (ДхШхВ) предполагаемой грузовой единицы должен быть меньше 2900х1500х2000мм. В такой диапазон попадают почти все виды тар, применяемых в автомобильных грузоперевозках тарно-штучных грузов. Вагон имеет высокую грузовместимость, поэтому грузы должны быть преимущественно объёмными.

Поддоны являются наиболее распространенным видом транспортной тары при перевозке тарно-штучных грузов. Поддоны изготавливаются из дерева, металла или пластика. Также встречаются образцы, изготовленные из вторсырья, например, из картона.

Металлические поддоны характеризуются высокой температурой плавления, поэтому используются в помещениях с повышенной температурой, также применяются при транспортировании тяжелых грузов в основном внутри производственного предприятия. Исключением являются авиационные поддоны, сделанные из алюминия. Картонные поддоны, несмотря на наименьший вес тары, обладают худшими прочностными качествами по сравнению с аналогами из других материалов. А при постоянных перегрузках с одного вида транспорта на другой существует риск повреждения тары и груза.

Поддоны также делятся на плоские, ящичные и стоечные согласно [100]. Поддоны ящичного и стоечного типов отличаются от обыкновенных плоских только съёмными и несъёмными ограждающими стенками. На практике используются обе конструкции. Ящичные, стоечные поддоны в складах устанавливаются в несколько ярусов и перерабатываются вилочными автопогрузчиками таким же способом, как и плоские. Рама ящичного и стоечного

поддонов устроена так, что она может воспринимать нагрузку и надежно защищать груз от повреждений.

Наиболее широкое распространение, благодаря своим техническим и эксплуатационным показателям, получили деревянные [101] и пластиковые (полимерные) поддоны [102] (таблица Б.1).

В соответствии с таблицей Б.2 приложения Б объем груза, перевозимого на большинстве указанных поддонов, примерно схож: 76-79% использования грузового объема вагона. Главное различие отмечено между весом тары пластикового и деревянного поддонов. При незначительной разнице в грузоподъемности, пластиковый поддон может весить меньше деревянного более чем в два раза. При полной загрузке вагона поддонами обнаруживается, что грузоподъемность деревянных поддонов используется на 25-35%, когда пластиковых – 30-71%.

Отличительной чертой малотоннажных контейнеров [103] от ящичных и стоечных поддонов является наличие различных приспособлений, которые дают возможность перегружать их не только тележками с подъемными платформами и автопогрузчиками с вилочными захватами, но и кранами. [104] Контейнер АУК-0,625 имеет главный недостаток, из-за которого его предстоит исключить из числа рассматриваемых претендентов – большой предельный вес тары, до 200 кг (таблица А.2). При полной загрузке вагона почти 50% его грузоподъемности составит вес тары.

Описанные варианты транспортных тар не обеспечивают эффективное использование вагона по ряду причин:

1. В требованиях к механизму автоматического перемещения грузовых единиц запрещается размещение транспортных пакетов в несколько ярусов.
2. Ограничение по высоте транспортных пакетов в соответствии с нормативными документами.
3. Неполное использование грузового пространства вагона по ширине.
4. Чрезмерно большой вес тары АУК-0,625.

5. Отсутствие у грузовых плоского основания для перемещения с помощью перекрестных транспортеров.

Существует потребность в таре больших размеров при относительно малом весе. В качестве примера предлагается рассмотреть поддон, применяющийся в авиации – РҮВ-Q6 (таблица Б.1 приложения Б) [105, 106].

Если рассматривать высоту пакета 1900мм, максимальный объем перевозимого груза составит $6,5\text{ м}^3$, что при полной загрузке вагона означает 100% использование грузового пространства. В вагон вмещается 18 поддонов или 117 м^3 . Вес тары составляет 100 кг (что при полной загрузке вагона равно меньше, чем при использовании рассматриваемых деревянных поддонов). Площадь РҮВ-Q6 позволяет разместить на нём 3 пакета с основанием 1240x840 и 2 пакета 1240x1040.

Единственный недостаток использования авиационного средства пакетирования (ULD) в смешанных перевозках автомобиль - поезд - автомобиль – потребуется дополнительная доработка пола грузовых отсеков, эксплуатируемых в настоящий момент автомобилями (пример: рисунок 2.1), мест погрузки-выгрузки, а также складских помещений.



Рисунок 2.1 – Пол грузового отсека автомобиля, перевозящего ULD

Опыт перевозки ULD в автомобилях уже существует в Европе [107].

На данной стадии развития проекта высокоскоростных грузовых перевозок, а также предложенной системы регулирования смещения центра тяжести вагона, применение авиационных поддонов в качестве тары является наиболее оптимальным, поэтому далее в диссертации в качестве примера взят промежуточный вагон, пол которого разделен на 2 ряда по 9 мест.

2.3 Представление концепции высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ

СРСЦТ направлена на оптимальное распределение нагрузки, как между всеми вагонами поезда, так и внутри каждого вагона по отдельности, а также ускорение выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Оптимальным распределением нагрузки для поезда считается размещение более легких вагонов в конце состава, для предотвращения эффекта «выдавливания» лёгких вагонов более тяжелыми при прохождении кривых, каждого вагона – минимальное смещение общего центра масс перевозимого груза относительно геометрического центра вагона. СРСЦТ, позволяет цифровизовать систему управления перевозочным процессом. [108-111]

Система состоит из следующих элементов:

1. Механизм для автоматического перемещения и фиксации ULD (механизм).
2. Программное обеспечение (ПО), формирующее схемы расположения ULD, в соответствии с которыми механизм осуществляет перемещение ULD.

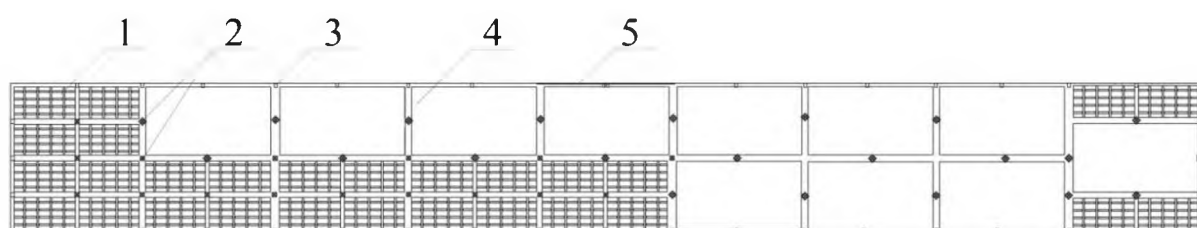
В основу работы механизма заложена технология перемещения и фиксации грузов применяемая в авиации (см. п. 1.3). В отличие от перспективного поезда в самолете процесс перемещения происходит под руководством оператора.

В пол вагона устанавливаются перекрестные транспортеры (рисунок 2.2) способные перемещать груз в четырех направлениях (вперед, назад, вправо, влево). Перекрестные транспортеры применяются в складском комплексе для изменения направления движения груза. [115, 116]



Рисунок 2.2 - Транспортёр перекрёстный

На рисунке 2.3 представлен эскиз устройства пола вагона перспективного высокоскоростного поезда.



1- перекрестный транспортер; 2- фиксаторы напольные;
3- направляющие; 4- ULD; 5- двери.

Рисунок 2.3 - Пол промежуточного вагона с установленным механизмом перемещения ULD

В соответствии с рисунком 2.3 пол вагона делится на 2 ряда (количество мест зависит от принятого стандарта размера перевозимого пакета). По возможности предполагается размещение ULD между рядами.

Перевозимый ULD закрепляется с четырёх сторон с помощью специальных фиксаторов 2. Направляющие 3 установлены вдоль стен вагона и предохраняют перемещаемый ULD от перекоса. Направляющие и фиксаторы внешне схожи с применяемыми в авиации.

Механизм функционирует по представленному в данной работе алгоритму в соответствии с имеющимися сведениями о начальном и конечном расположении ULD в вагоне.

Обязательным условием работы механизма является наличие хотя бы одного незанятого места.

По замыслу автора ULD выгружаются на платформы, оборудованные идентичным механизмом перемещения грузов, что и вагон, для перемещения ULD по направлению к месту хранения/перегрузки на другой вид транспорта, а также формирования очереди для погрузки в вагоны.

Основной задачей ПО является формирование схем размещения ULD в зависимости от этапа движения поезда (таблица 2.2)

Таблица 2.2 – Выполняемая функция ПО в зависимости от этапа нахождения поезда в пути

№ п/п	Этап движения поезда	Наименование погрузочно-разгрузочной работы	Функция ПО
1	Отправка из начального пункта (пункта формирования)	Погрузка	Сформировать схемы расположения грузов на платформе и в вагоне с целью ускорения погрузочной работы, обеспечения безопасности движения и проведения беспрепятственной разгрузочной работы на следующем остановочном пункте
2	Нахождение в пути	–	–
3	Подъезд к промежуточному остановочному пункту	Подготовка ULD к выгрузке	Сформировать схемы расположения выгружаемых ULD как можно ближе к дверям вагона с целью уменьшения времени на разгрузочные работы
4	Прибытие на промежуточный остановочный пункт	Выгрузка	–
		Погрузка	см. п. 1
		Погрузка/ выгрузка с временной выгрузкой «ядра»	Сформировать схемы расположения грузов и «ядра» на платформе, далее как в п. 1
5	Прибытие в конечный пункт (пункт расформирования)	Выгрузка	см. п. 4
Примечание: Под термином "ядро" понимается основной груз, остающийся в железнодорожном вагоне после частичной выгрузки груза на промежуточных пунктах следования железнодорожного вагона.			

Для каждого этапа (кроме нахождения в пути) существует своя схема размещения ULD. Согласно таблице 2.2 существуют две основные схемы размещения с целью обеспечения:

- допустимого смещения центра тяжести от геометрического центра вагона (этап 1 и 4);
- обеспечения максимально быстрой выгрузки (этап 3).

Данное исследование охватывает принципы функционирования элементов СРСЦТ по отдельности:

- алгоритм работы механизма перемещения грузов внутри вагона;
- модель формирования схем загрузки для обеспечения распределения грузов между вагонами поезда, а также внутри каждого вагона;
- подход к решению задачи по формированию схем для ускорения выгрузки.

2.4 Разработка методов автоматического перемещения перевозимых грузов на основе алгоритма поиска в ширину и A^*

2.4.1 Математическая модель и программная реализация

Предложенный метод реализован на примере вагона, перевозящего авиационные поддоны РУВ, применяется при переходе между погрузочно-разгрузочными работами [117].

Постановка задачи

Вагон высокоскоростного поезда, пол которого разделен на 2 ряда по 9 мест (2x9), перевозит на борту не более 17 ULD (т.к. хотя бы одно поле должно быть свободным), размещенных в соответствии со схемой А (рисунок 2.4). По прибытии на промежуточный остановочный пункт и совершении погрузочно-разгрузочной работы появляется необходимость расположить ULD в соответствии с новой схемой В.

Задача состоит в том, чтобы за наименьшее количество перестановок ULD перейти от схемы А к схеме В.



Рисунок 2.4 – Пример схемы состояния А и схемы состояния В.

2.4.2 Описание алгоритма поиска

Данную задачу можно представить, как поиск между двумя вершинами конечного неориентированного графа. Для решения задачи применялись стандартный алгоритм поиска в ширину и алгоритм A^* .

Вершиной графа является положение всех ULD в вагоне, закодированное 22 байтами, где 18 первых номеров байтов – номера позиций ячейки, а их значения – номер ULD либо 0, (0 означает пустую ячейку, а 4 последних являются ссылкой на родительскую вершину в предыдущем уровне).

Переход из одной вершины графа в другую осуществляется путем перемещения ULD в эту пустую клетку, соседствующую с ним. Таким образом, в зависимости от положения пустой клетки при раскрытии графа появляется одна

или две новых вершины, так как перемещение в предыдущее состояние недопустимо (рисунок В.1 приложения В).

Также необходимо отметить невозможность решения определенной ситуации, описанной ниже.

Пусть дана некоторая позиция на доске:

$$\begin{array}{cccccccccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & a_8 & a_9 & \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18}' & \end{array} \quad (14)$$

где один из элементов $a_z = 0$.

Рассмотрим перестановку:

$$a_1 a_2 \dots a_{z-1} a_{z+1} \dots a_{17} a_{18}, \quad (15)$$

т.е. перестановка чисел, соответствующая позиции, без нулевого элемента.

Обозначим через N количество инверсий в этой перестановке, т.е. количество таких a_i и a_j , что $i < j$, но $a_i > a_j$. Далее, пусть K – номер строки, в которой находится пустой элемент, т.е. в наших обозначениях

$$K = (z - 1) \operatorname{div} 9 + 1, \quad (16)$$

В таком случае решение существует тогда и только тогда, когда $N + K$ чётно.

Доказательство для случая матрицы 4x4 было приведено в 1879 году Джонсоном и Стори [118]. В 1999 году Арчер предложил более простое доказательство [119].

В процессе расчета было выяснено, что такое ограничение распространяется и на данную ситуацию.

Алгоритм поиска в ширину – это один из самых простых алгоритмов обхода невзвешенного графа. Он работает путем просмотра каждого уровня графа, начиная с вершины-источника.

Для просмотра очередной вершины, она извлекается из «головы» очереди, а все вершины-потомки помещаются в очередь. Таким образом, возможен полный

перебор всех вершин графа последовательно уровень за уровнем. Блок-схема данного алгоритма представлена в (рисунок В.2 приложения В).

Алгоритм A^* – это алгоритм поиска, который находит во взвешенном графе маршрут наименьшей стоимости от начальной вершины до выбранной конечной. [120]

В процессе работы алгоритма для вершин рассчитывается функция:

$$f(v) = g(v) + h(v), \quad (17)$$

где $g(v)$ – наименьшая стоимость пути в v из стартовой вершины;

$h(v)$ – эвристическое приближение стоимости пути от v до конечной цели;

v – текущая рассматриваемая вершина графа.

Чтобы A^* был оптимален, выбранная функция должна быть допустимой эвристической функцией. В качестве эвристической функции была выбрана сумма необходимых ходов ULD из своих позиций состояния А, до требуемых позиций состояния В. Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке В.3 приложения В.

2.4.3 Разработка программы

Программа, реализующая алгоритм содержит следующие части:

1) Интерфейсная часть, в которой исходные данные для расчета задаются пользователем, и все ходы решения выводятся в информационное окно вывода результатов или в виде сообщения об ошибке (рисунок 2.5).

2) Расчетный класс содержит функцию для анализа исходных данных, основную расчетную функцию и дополнительные функции для проведения расчета.

Функция анализа исходных данных предназначена для проверки размерности исходных состояний А и В и предварительного расчета количества ходов для успешного проведения расчета.

Основная расчетная функция принимает исходные данные, далее осуществляет расчет по алгоритму и далее формирует ответ для вывода в окно результатов.

The interface displays two 2x9 grids representing game states. The top grid, 'Состояние А', has values: Row 1: [1,6], [2,], [3,], [4,], [5,2], [6,3], [7,], [8,7], [9,]; Row 2: [1,], [2,], [3,], [4,4], [5,], [6,], [7,], [8,5], [9,1]. The bottom grid, 'Состояние В', has values: Row 1: [1,4], [2,5], [3,2], [4,], [5,], [6,], [7,], [8,], [9,]; Row 2: [1,], [2,3], [3,6], [4,], [5,], [6,], [7,7], [8,], [9,1]. Both grids have a 'Максимальный номер: 7' label below them. To the right are buttons: 'Сбросить состояния', 'Сгенерировать случайные состояния А и В', 'Сгенерировать 17 чисел', and 'Расчет'. At the bottom right is a scrollable list of moves for the solution, numbered 1 to 10, each describing a move from one state to another.

Состояние А

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	U 6				U 2	U 3		U 7	
2				U 4				U 5	U 1

Максимальный номер: 7

Состояние В

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	U 4	U 5	U 2						
2		U 3	U 6				U 7		U 1

Максимальный номер: 7

Сбросить состояния

Сгенерировать случайные состояния А и В

Сгенерировать 17 чисел

Расчет

Ходы для решения:

- 1 ход: Из [2, 4] в [1, 4]
- 2 ход: Из [1, 6] в [2, 6]
- 3 ход: Из [2, 8] в [2, 7]
- 4 ход: Из [2, 6] в [2, 5]
- 5 ход: Из [2, 7] в [2, 6]
- 6 ход: Из [2, 5] в [2, 4]
- 7 ход: Из [1, 8] в [2, 8]
- 8 ход: Из [2, 8] в [2, 7]
- 9 ход: Из [2, 6] в [2, 5]
- 10 ход: Из [2, 4] в [2, 3]

Рисунок 2.5 – Интерфейс расчетной программы.

3) Дополнительные функции включают в себя функцию раскрытия вершины графа, функцию проверки вершины графа, функцию поиска номеров положения нулей в текущей вершине, функцию оценки эвристики.

При расчете алгоритм поиска в ширину всегда будет находить наиболее верное решение, так как является по своей сути полным перебором, но в ходе тестирования алгоритм требовал значительные вычислительные ресурсы, начиная с 15 ходов для достижения состояния В из состояния А. Данное ограничение связано, в первую очередь, с ограничением в оперативной памяти, хранящей все вершины, которые были проверены алгоритмом, и очередь с вершинами для проверки.

Поэтому было принято решение к переходу к алгоритму с допустимой эвристикой: сумма необходимых ходов ULD из своих позиций состояния A, до требуемых позиций состояния B, или к алгоритму A*.

Дальнейшее тестирование показало, что алгоритм допустимо работает до 30 ходов. Ограничение в 30 ходов связано в первую очередь с тем, что общее количество вершин превышает размер в 4 байта и, тем самым, требует использование не просто указателей на вершины, но и группировку этих указателей. При группировке же возникает то же ограничение в оперативной памяти. Оценка показала, что переход от оперативной памяти к памяти жесткого диска не окажет значительного влияния на алгоритм, так как количество вершин графа растет экспоненциально с каждым уровнем графа, а также растет вычислительная сложность алгоритма, что, в свою очередь, повлияет на время расчета.

Поэтому на данном этапе исследования, при текущем алгоритме работы, необходимо учесть это ограничение при формировании требований к поставленной задаче. Там же необходимо учесть ограничение, указанное в п. 2.3.2.

2.5 Разработка метода размещения ULD в поезде, оснащённом СРСЦТ, следующем без промежуточных остановок

Подраздел посвящен разработке метода формирования схем размещения произвольного количества ULD в n-вагонный поезд, следующий от пункта отправления до пункта назначения без промежуточных остановок, с учётом заданных ограничений. Все ULD схожи по габаритам, но различны по весу.

За основу для разработки математической модели выбрана и подвергнута доработке целевая функция из статьи [80]. Изначально в целевой функции представлены три условия оптимальной загрузки поезда:

- минимальная разница массы груза между передней и задней частью каждого вагона;
- минимальная разница массы груза между левой и правой частями каждого вагона;
- минимальная разница масс вагонов.

Изменения затрагивают следующие элементы формулы:

1. Вместо вычисления разницы в весе между частями вагона применить формулу расчёта центра масс для получения более точного результата.

2. Минимальную разницу в весе между вагонами заменить выражением, которое минимизирует разницу в весе между загрузкой каждого вагона и выбранного заранее ограничивающего дискретного множества. Граничное множество составляется с использованием известных зависимостей: кусочно-линейного и экспоненциального. Применение экспоненциальной зависимости позволит минимизировать продольные усилия при прохождении поворота груженого поезда.[121]

2.5.1 Постановка задачи и описание параметров модели

Рассматривается высокоскоростной поезд (проектные характеристики указаны в Таблице 2.3), перевозящий ULD на авиационных поддонах РУВ-Q6 из пункта А в пункт Б.

Таблица 2.3 – Проектные эксплуатационные характеристики высокоскоростного поезда и ULD необходимые для реализации математической модели

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Количество вагонов в составе, ед.	8 (2 головных, 6 промежуточных)
2	Грузоподъёмность каждого вагона, тонн	промежуточный – 20 головной – 15

3	Количество осей в вагонах, ед.	4
4	Количество мест для ULD, ед.	промежуточный вагон – 18 головной – 10
5	Осевая нагрузка (без учета веса тары вагона), тонн/ось	5
6	Габариты кузова вагона (Д x Ш), м	промежуточный – 24,2 x 3,36 головной – 26,764 x 3,36
7	Габариты пола грузового отсека вагона (Д x Ш), м	промежуточный – 24 x 3,14 головной – 13,5 x 3,14

Предполагается, что перед отправлением доступна следующая информация о перевозимых грузах:

- количество ULD, заявленных к перевозке;
- пункт отправления;
- пункт назначения;
- масса ULD.

Требуется определить такую схему загрузки поезда, при которой обеспечивается безопасное движение на протяжении всего железнодорожного маршрута из пункта А в пункт Б [122].

Для последующего моделирования и формирования оптимизационной задачи введем некоторые обозначения, описывающие рассматриваемый объект исследования.

Пусть

M_i – масса грузов i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

$M_{\max}^i$ – предельно допустимое значение массы, которое можно разместить в i -ом вагоне, $\forall i = 1, \dots, 8$.

μ_i – множество значений экспоненты, ограничивающее массу грузов i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

m_{ij} – масса j -го ULD, размещенного в i -ом вагоне, $\forall i = 1, \dots, 8$; $\forall j = 1, \dots, 8$.

C_i – двумерный вектор, определяющий положение центра масс i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

G_i – множество двумерных векторов, задающих геометрические центры каждого вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

L – величина, ограничивающая расстояние между центром масс (C_i) и геометрическим центром масс (G_i).

α_1, α_2 – веса слагаемых целевой функции.

$x_{ij} \in \{0,1\}$, $x = 1$, если j -ый ULD размещена в i -ом вагоне. В противном случае $x = 0$.

2.5.2 Математическая модель

Принимая во внимание введенные выше обозначения, сформулируем экстремальную задачу.

Рассматривается функционал вида:

$$F = \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^8 (\mu_i - M_i) + \alpha_2 \cdot \sum_{i=1}^8 \|C_i - G_i\| \rightarrow \min, \quad (18)$$

На объекте:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq M_{\max}^i, \forall i = 1, \dots, 8, \end{array} \right. \quad (19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq \sum_{i=1}^8 M_{\max}^i, \end{array} \right. \quad (20)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq \mu_i, \forall i = 1, \dots, 8, \end{array} \right. \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \|C_i - G_i\| \leq L, \forall i = 1, \dots, 8, \end{array} \right. \quad (22)$$

Функционал качества (18) содержит два слагаемых:

1. $\sum_{i=1}^8 (\mu_i - M_i)$. Взвешивается коэффициентом α_1 и определяет сумму близостей суммарных масс грузов i -го вагона к j -му элементу из заданного множества μ , где $\mu_i \in \mu$.

2. $\sum_{i=1}^8 \|C_i - G_i\|$. Взвешивается коэффициентом α_2 и задает сумму расстояний между положением центра масс и геометрическим центром масс каждого из вагонов.

Неравенство (19) задает ограничение на суммарную массу i -го вагона, где x_{ij} —элемент, принадлежащий множеству $\{0, 1\}$ и определяющий наличие груза в i -ом вагоне на j -ом ULD. Неравенство (20) ограничивает суммарную массу загруженных в поезд ULD грузоподъемностью вагонного состава. Выражение (21) ограничивает сумму масс грузов i -го вагона значением μ_i , где $\mu_i \in \mu$. Неравенство (22) накладывает ограничение на расстояние между центром масс и геометрическим центром масс.

Математическая модель, описываемая уравнениями (18) – (22), является некоторой абстракцией. Для конкретизации задачи необходимо задавать параметры, ограничивающие область изменений значений объекта. Таким образом, для того чтобы сформулировать конечную задачу, необходимо определить:

- грузоподъемность каждого вагона ($M_{\max}$);
- массу каждого ULD (M_i);
- множество значений, определяющее способ загрузки ULD во всем поезде μ ;
- геометрический центр масс G ;
- максимально допустимое расстояние между центром масс и геометрическим центром масс L .

Согласно таблице 1 высокоскоростной товарный поезд состоит из 8 вагонов, 2 из которых являются головными, оставшиеся 6 – промежуточными. Также известна грузоподъемность каждого типа вагонов: для головных вагонов эта

величина составляет 15 тонн, для промежуточных – 20 тонн. На основании этой информации можно сформировать множество $M_{\max}$.

$$M_{\max} = \{15, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 15\}, \quad (23)$$

Вопрос выбора оптимального способа погрузки является достаточно сложным, поскольку он должен соответствовать как экономическим, так и физическим потребностям. В данной работе рассматриваются 2 способа загрузки вагонов поезда: «трапецевидный» и «экспоненциальный».

При «трапецевидном» варианте каждый вагон загружается ULD, суммарная масса которых не превышает грузоподъемность данного вагона. На рисунке 2.6 изображен график экспоненциальной загрузки. Нумерация вагонов производится слева направо. Значения μ_i обозначены на графике точками.

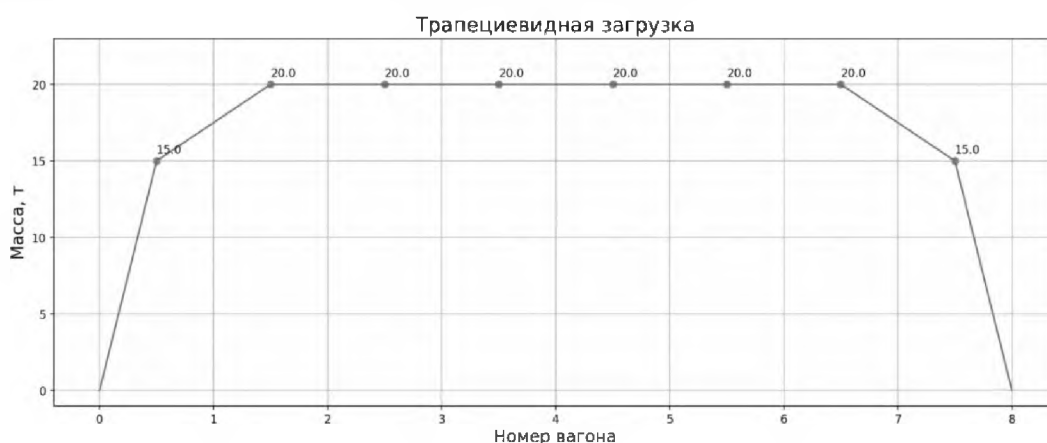


Рисунок 2.6 – Трапецевидный тип загрузки поезда

На основании известных значений элементов множества $M_{\max}$ можно определить μ^{trap} :

$$\mu^{\text{trap}} = \{15, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 15\}, \quad (24)$$

В случае «экспоненциальной» схемы загрузки предполагается, что суммарная масса грузов каждого вагона экспоненциально убывает в зависимости от номера вагона. Так, первый вагон загружается грузами, суммарная масса которых приблизительно равна значению грузоподъемности вагона, суммарные массы грузов последующих вагонов будут экспоненциально убывать. По

аналогии с «трапецевидной» загрузкой был построен график «экспоненциальной» загрузки, изображенный на рисунке 2.7.

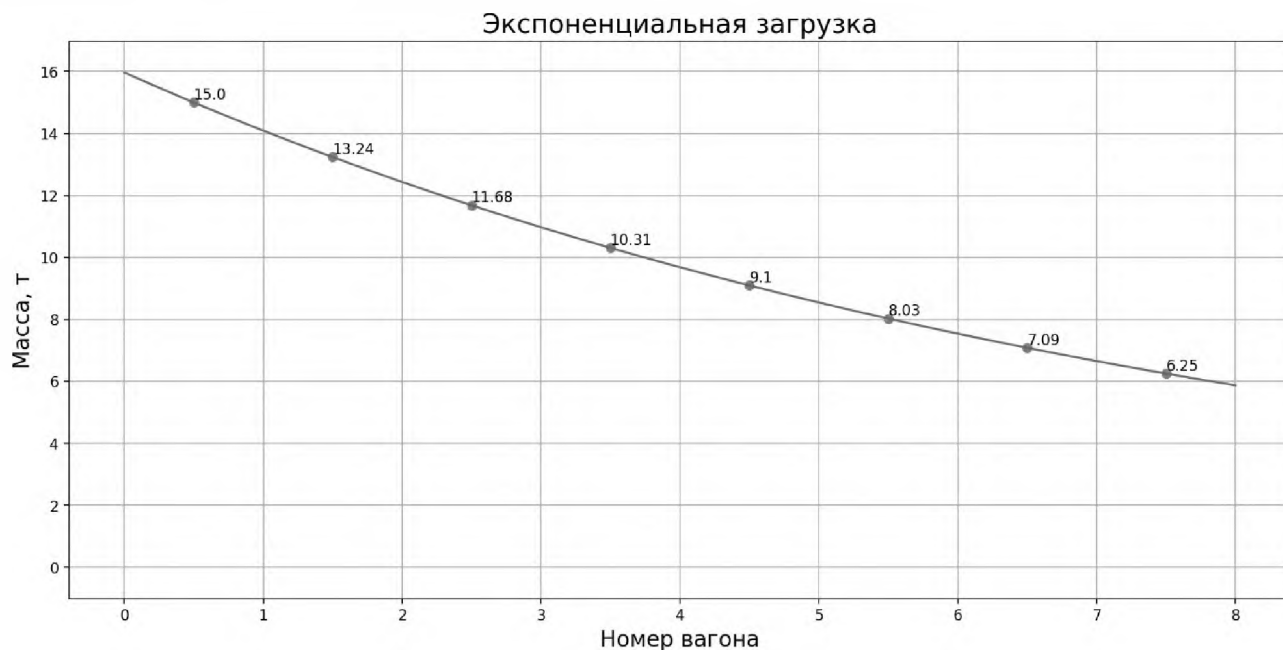


Рисунок 2.7 – Экспоненциальный тип загрузки поезда

Данный график получен путем масштабирования функции экспоненты из отрезка $[0, 1]$ в отрезок $[0, 8]$. Масштабирование значений функции производилась с помощью коэффициента, рассчитываемого для первого вагона так, чтобы масса груза составляла 15 тонн. Середина отрезка по оси ОХ представляет собой центр вагона: номер вагона – правая граница отрезка. Таким образом, для первого вагона коэффициент масштабирования γ рассчитывался по формулам (25) и (26):

$$z = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min} = \frac{0.5 - 0}{8 - 0} \cdot (15 - 0) + 0 = \frac{1}{16}, \quad (25)$$

где:

z – отмасштабированная переменная на новый интервал.

$$\gamma = \frac{m_-}{\exp(-z)} = \frac{15}{\exp\left(-\frac{1}{16}\right)}, \quad (26)$$

Таким образом, в случае экспоненциального типа загрузки множество μ определяется так:

$$\mu^{\text{exp}} = \{15, 13.2, 11.7, 10.3, 9.1, 8, 7.1, 6.3\}, \quad (27)$$

Выбор значений параметра максимального смещения центра масс связан со значением суммарной массы грузов в i -ом вагоне в соответствии с [123-127].

Для получения множества геометрических центров необходимо рассмотреть расчётные схемы головного и промежуточного вагонов, где указаны их габариты. На рисунке 2.8 изображена схема головного вагона.

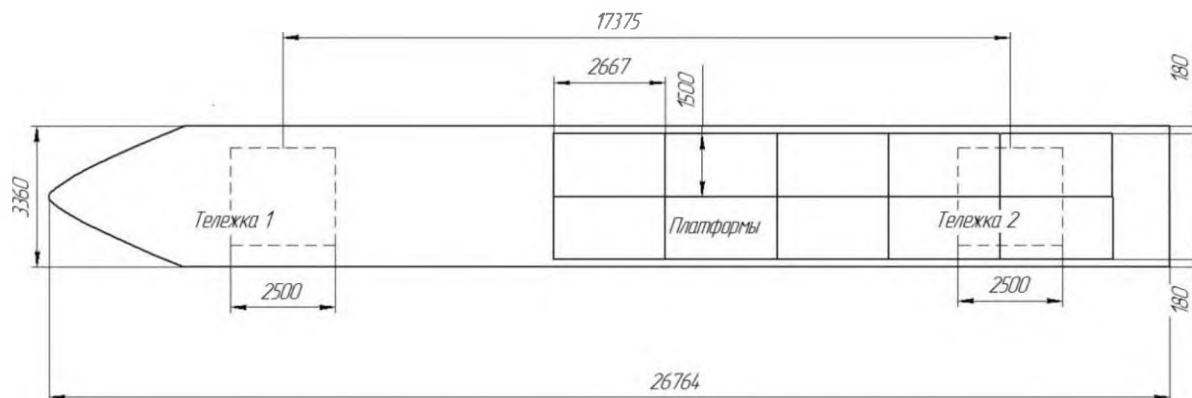


Рисунок 2.8 – Расчётная схема головного вагона высокоскоростного грузового поезда (вид сверху)

Учитывая параметры вагона, нетрудно определить координаты геометрического центра. Левая часть вагона помещается в начало декартовой системы координат, после чего производятся арифметические вычисления.

$$G_{1,8} = \begin{pmatrix} 13,382 \\ 1,68 \end{pmatrix}$$

Аналогичные рассуждения и расчеты проводятся и с данными промежуточного вагона, схема которого представлена на рисунке 2.9.

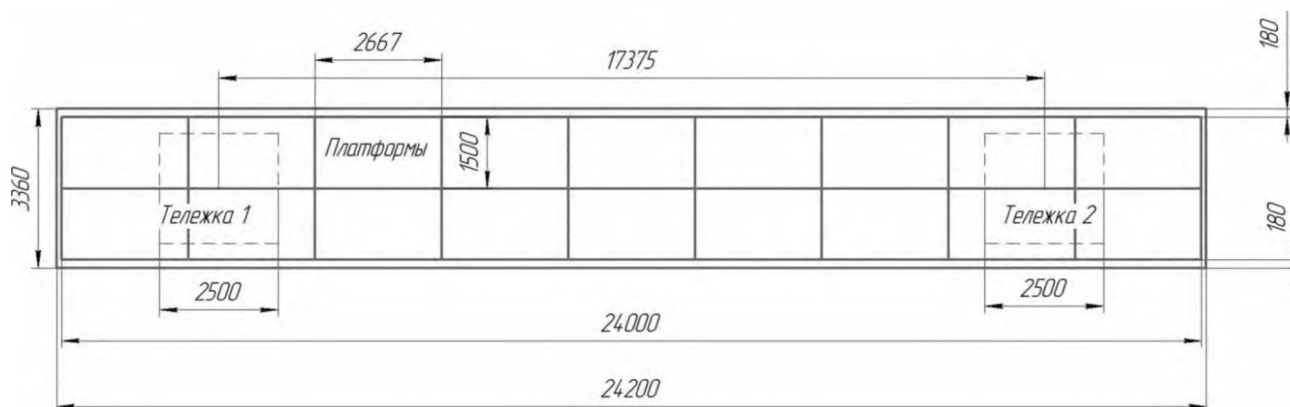


Рисунок – 2.9 Схема промежуточного вагона высокоскоростного грузового поезда
Координаты геометрического центра промежуточного вагона:

$$G_{2,3,4,5,6,7} = \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}$$

Таким образом, обобщая полученные результаты координат геометрических центров, получаем множество двумерных векторов G :

$$G = \left\{ \begin{pmatrix} 13,382 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 13,382 \\ 1,68 \end{pmatrix} \right\}$$

В данном разделе были проведены работы, итогами которых стали построенная математическая модель погрузки поезда и определенные параметры модели для различных подходов к решению задачи. В следующем разделе будут рассмотрены конечные задачи с установленными граничными значениями.

2.5.3 Подход к решению задачи

Решение поставленной задачи предлагается искать путем brute force (полного перебора) с применением некоторых эвристик для повышения быстродействия разрабатываемого алгоритма. Предлагается искать ответ в два этапа:

1. Предварительная обработка данных о транспортируемом грузе.
2. Составление схемы размещения грузов в поезде.

На первом этапе выбирается способ загрузки вагонов поезда (трапециевидный или экспоненциальный), после чего происходит формирование очередей грузов, которые будут распределены по вагонам.

На следующем этапе происходит непосредственное вычисление оптимальной схемы загрузки. Иными словами, ищется решение задачи (18) – (22).

Этап 1 Предварительная обработка данных о транспортируемом грузе.

Первым шагом предобработки данных является сортировка всех грузов, которые необходимо транспортировать из пункта А в пункт Б, в порядке убывания по массе. Затем разделить совокупность грузов на 8 подгрупп (число

подгрупп соответствует числу вагонов). Предполагается, что масса грузов распределена равномерно на отрезке $[0, 1.5]$.

Таблица 2.4 – Псевдокод алгоритма сортировки грузов

0	Начало алгоритма
1	Сортировка грузов по убыванию значения массы
2	Разбиение последовательности грузов на 8 подгрупп, где количество грузов в подгруппе равно числу доступных мест в вагоне
3	Для каждой подгруппы из подгрупп
4	Подсчет суммы масс грузов подгруппы
5	Если сумма масс грузов подгруппы больше предельной загрузочной массы
6	Удаляем из подгруппы тяжелый элемент
7	Переходим на новую итерацию с этой же подгруппой
8	Конец алгоритма

Этап 2 Составление схемы размещения грузов в поезде

Последовательность действий второго алгоритма начинается с распределения загрузочных очередей в вагоны. Циклично загружается каждый вагон, начиная с головного. Для загрузки каждого вагона строятся возможные комбинации решений, среди которых находится оптимальный с точки зрения введенного функционала качества (18). Каждая новая итерация верхнего цикла находит оптимальную схему загрузки для текущего вагона.

Таблица 2.5 – Псевдокод алгоритма размещения грузов в поезде

0	Начало алгоритма
1	Для каждого вагона из состава поезда
2	Для каждого груза из загрузочной подгруппы номер подгруппы соответствует номеру вагона
3	Заполнить схему вагона текущим грузом
4	Посчитать значения слагаемых функционала качества
5	Если значения слагаемых функционала качества минимальны
6	Текущая загрузочная схема вагона оптимальная
7	Конец алгоритма

Помимо предположения использования алгоритма полного перебора предлагается рассмотреть алгоритм обхода графа в глубину и перебор

всевозможных вариантов комбинаций с добавлением некоторых эвристик для ускорения работы алгоритма.

Алгоритм был реализован в программе, интерфейс которой изложен в приложении Г

2.6 Разработка метода размещения ULD внутри вагона для ускорения погрузочно-разгрузочных работ

Для сокращения времени, затрачиваемого на операцию разгрузки поезда, предлагается осуществлять перегруппировку ULD внутри каждого вагона, из которого предстоит выгрузка при подъезде перспективного поезда к промежуточному остановочному пункту. Скорость поезда по мере приближения его к месту осуществления погрузочно-разгрузочных работ будет значительно снижаться настолько, что влияние изменения центра масс на устойчивость поезда в целом будет нивелироваться.

В данном подпункте определяется оптимальная схема размещения ULD перед началом выгрузки, где под критерием оптимальности подразумевается время, затрачиваемое на выгрузочные работы.

Для достижения критерия оптимальности задачей данного метода является обеспечение:

- непрерывного потока выгружаемых грузов из вагона;
- выгрузки за минимальное время.

На протяжении всего маршрута перспективного поезда информация о каждом грузе доступна для анализа. С использованием этих данных можно составить схему размещения ULD в вагоне, представленную на рисунке 2.10.

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	X	O	O	X	O	O	O	X	O
Ряд 2	O	O	O	X	O	X	O	O	X

Рисунок 2.10 – Расположение грузов в вагоне

Под символом «X» понимается ULD, который необходимо выгрузить на ближайшем остановочном пункте, а символ «O» используется для обозначения либо ULD, транспортируемых далее по маршруту, либо пустых ячеек.

Известно, что выгрузка ULD из вагонов производится через «центральную позицию», координаты которой в соответствии с рисунком 2.10 можно обозначить как (ряд 2, столбец 5).

Рассмотрим следующие подходы к размещению ULD внутри вагона перед началом выгрузки:

- «последовательный»;
- «параллельный».

При «последовательном» подходе рассматривается конфигурация размещения грузов в вагоне на примере рисунка 2.11.

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	O	O	O	O	O	O	O	O	X
Ряд 2	O	O	O	O	X	X	X	X	X

Рисунок 2.11 – Схема размещения ULD при «последовательном» подходе

«Последовательный» подход направлен, прежде всего, на обеспечение «непрерывности» выгрузки. Однако из-за отдаленного расположения некоторых ULD от дверей механизм вынужден совершать «холостые» действия для

смещения выгружаемых ULD ближе к выходу, что требует дополнительного времени.

«Параллельный» подход (рисунок 2.12) является наиболее предпочтительным, т.к. предполагает не только непрерывную выгрузку, но и концентрацию выгружаемых ULD ближе к дверям. Своё название подход получил из-за возможности осуществления выгрузки по две единицы одновременно, что ускоряет погрузочно-разгрузочную операцию в целом.

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	○	○	○	×	×	×	○	○	○
Ряд 2	○	○	○	×	×	×	○	○	○

Рисунок 2.12 – Схема размещения ULD при «параллельном» подходе

Важно отметить, что не всегда представляется возможным производить формирование разгрузочной схемы в соответствии с описанными подходами. Допустим, имеется критерий, с помощью которого проверяется достижимость оптимальной разгрузочной схемы из исходного состояния, и также допустим, что этот критерий не выполняется. Таким образом необходимо разработать третий, универсальный метод выгрузки, затраты времени которого являются большими в сравнении с предшествующими приемами. Такой универсальный способ назовем «метод выгрузки «ядра».

Суть метода заключается в том, чтобы выгрузить полностью сектор (рисунок 2.13), в который входят как ULD, прибывшие в пункт назначения, так и ULD, следующие по маршруту далее. Размер выгружаемого сектора определяется в соответствии с крайними позициями, занимаемыми ULD, прибывшими в пункт назначения. Следовательно, схемой размещения ULD перед выгрузкой будет являться комбинация поддонов ULD, которая была сформирована на этапе загрузки.

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	О	Х	О	Х	О	Х	О	О	О
Ряд 2	О	О	О	Х	Х	О	Х	О	О

Рисунок 2.13 – Сектор выгружаемых ULD при использовании метода выгрузки ядра

Согласно рисунку 2.13 область выгружаемого ядра определяется следующим образом: крайней позицией слева является пара (Ряд 1, Столбец 2), а крайней позицией справа – (Ряд 2, Столбец 7). Данный набор ULD будет выгружен по прибытию рассматриваемого поезда в промежуточный остановочный пункт, после чего будет произведено распределение грузов по назначению.

Стоит отдельно заметить, что в рассматриваемом методе возможны ситуации, при которых количество ULD в выгружаемом ядре будет равно количеству имеющихся ULD в вагоне.

2.6.1 Построение алгоритма поиска схемы разгрузки

Перед непосредственным построением алгоритма представляется граф, описывающий этапы движения поезда (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Маршрут следования поезда

Согласно рисунку 2.14 поезд,двигающийся от станции отправления в сторону промежуточного остановочного пункта, приближается к абстрактной зоне «Начало подготовительных работ». Первым важным вопросом является выбор подхода к размещению ULD перед выгрузкой. Приоритеты подходов очевидны: наиболее предпочтителен «параллельный» подход, затем «последовательный» и в конце «метод выгрузки «ядра»». Однако для того, чтобы произвести выбор подхода, необходимо провести кодировку перевозимых ULD в формат «Х» и «О». После этого можно приступать к формированию разгрузочных схем и проверки критерия достижимости. Под критерием достижимости понимается возможность преобразования исходной схемы размещения ULD в оптимальную схему перед выгрузкой. Проверка критерия проводится алгоритмом, описанным в п. 2.3. Если проверка не пройдена, то используется метод выгрузки ядра, иначе – рассматривается быстроедействие параллельного и последовательного методов.

Таким образом, проведенные рассуждения можно уместить в емком и достаточно информативном виде – блок-схеме 1.

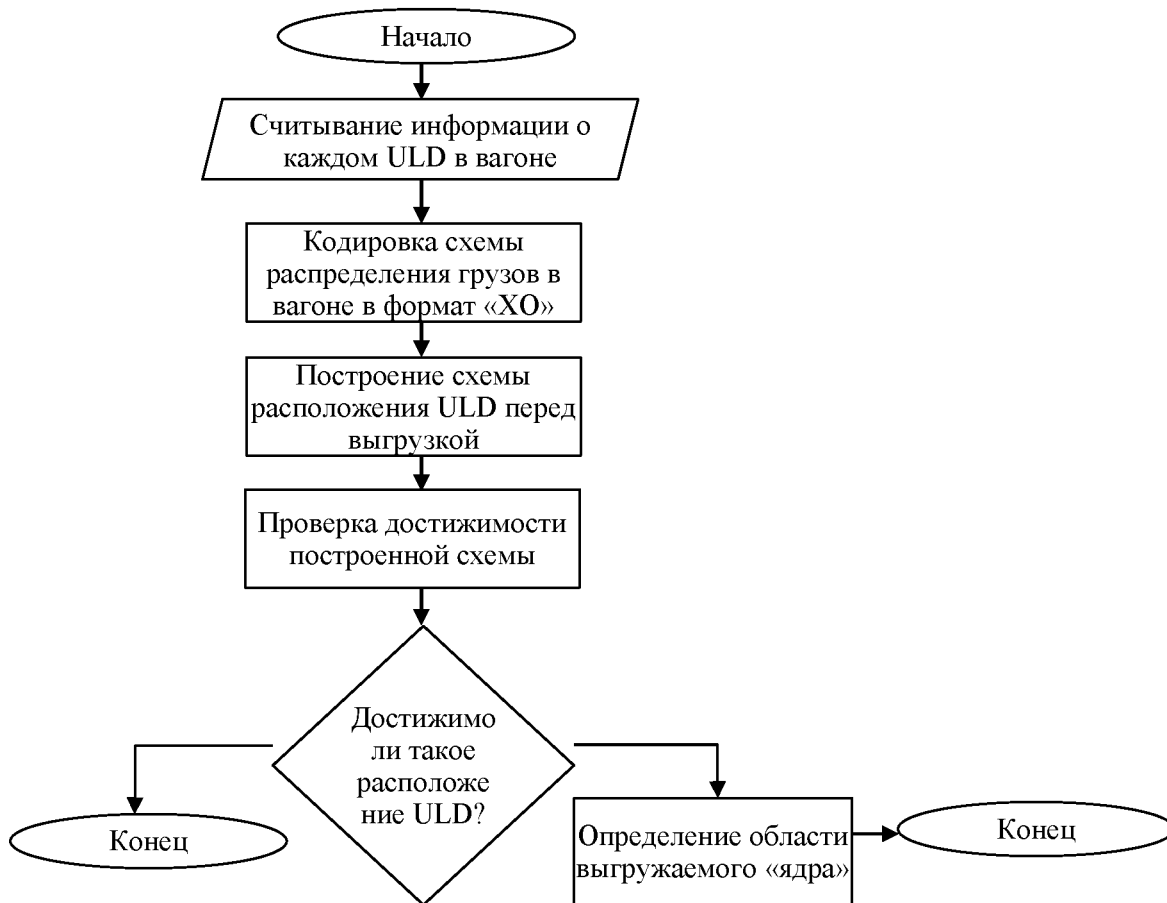


Рисунок 2.15 – Блок-схема выбора подхода к размещению грузов перед выгрузкой

Из алгоритма, представленного на рисунке 2.15, остается неопределенным этап «построение схемы расположения ULD перед выгрузкой», поэтому предлагается рассмотреть эту процедуру отдельно. Ранее в рассуждениях говорилось о том, что при выборе подхода к размещению ULD перед выгрузкой, в данной работе будет рассматриваться «параллельный» подход, следовательно, результат работы промежуточного алгоритма «построение схемы расположения ULD перед выгрузкой» должен формировать типы комбинаций ULD, схожие со схемой на рисунке 2.12, однако не исключаются ситуации смешанного подхода, при котором выгрузка будет производиться сначала параллельно, а затем последовательно.

Проектирование варианта схемы размещения ULD перед выгрузкой предлагается начинать с определения количества выгружаемых ULD: общее число выгружаемых ULD, количество выгружаемых ULD в центре, количество выгружаемых ULD слева (справа) (рисунок 2.16), количество выгружаемых ULD

сверху (снизу) (рисунок 2.17). С помощью полученных значений будет строиться область выгрузки по принципу группировки всех выгружаемых ULD в области центра – столбец 5.

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	○	X	○	X	○	X	○	○	○
Ряд 2	○	○	○	X	X	○	X	○	○

Рисунок 2.16 – Левая и правая зоны схемы распределения грузов

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	○	X	○	X	○	X	○	○	○
Ряд 2	○	○	○	X	X	○	X	○	○

Рисунок 2.17 – Верхняя и нижняя зоны схемы распределения грузов

Теория построения области выгрузки рассматривается на примерах схем, изображенных на рисунках 2.16, 2.17. В таблице 2.6 определены зоны размещения и количество ULD в каждой.

Таблица 2.6 – Распределение выгружаемых ULD по зонам размещения

Название зоны на схеме	Количество выгружаемых ULD
Полная схема	6
Центр	1
Левая	3
Правая	2
Верхняя	3
Нижняя	3

После построения таблицы проверим количество ULD в центральной зоне. В рассматриваемом примере значение данного параметра равно 1, а позиция такого ULD снизу. Поскольку позиция (Ряд 2, Столбец 5) занята, то сдвиг левой нижней зоны будет производиться для каждого объекта на Ряд 2, Столбец 5- i , где $i=1,2,3,4$, по аналогии строятся рассуждения для правой нижней зоны. Анализ верхней зоны также начинается с центральной позиции (Ряд 1, Столбец 5), которая является, пустой (или занятой не интересующим нас грузом). Таким образом, на это место может претендовать как первый груз из левой верхней зоны, так и первый груз из правой верхней зоны. Предпочтение отдается тому грузу, который находится в зоне с большим числом интересующих нас ULD. После этого фиксируется центральная позиция, и все дальнейшие сдвиги вокруг нее проводятся по аналогии с рассмотренным ранее случаем сдвига в левой нижней зоне. Реализуя приведенные рассуждения, можно получить схему расположения ULD перед выгрузкой, изображенную на рисунке 2.18.

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9
Ряд 1	○	○	○	×	×	×	○	○	○
Ряд 2	○	○	○	×	×	×	○	○	○

Рисунок 2.18 – Разгрузочная схема вагона

Блок-схема алгоритма подготовки ULD к выгрузке изображена на рисунке Д.1 приложения Д.

2.7 Выводы к главе

1. Проведен анализ средств выполнения погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов в транспортных пакетах на железнодорожном, автомобильном и авиационном видах транспорта на основании нормативной документации. Принято решение о поиске более быстрого, автоматизированного и надежного способа выполнения погрузочно-разгрузочных работ для перспективного высокоскоростного грузового поезда.

2. Проведен сравнительный анализ тар с целью выбора подходящего варианта для концептуального вагона высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ. Наиболее подходящим вариантом по предъявляемым требованиям оказался авиационный поддон РҮВ-Q6.

3. Следующим этапом развития технологии оптимизации места расположения грузов в вагонах высокоскоростного поезда стала СРСЦТ, позволяющая автоматически перемещать и фиксировать грузы по технологии, схожей с применяемой в авиации, в соответствии с установленными схемами размещения грузов в вагонах. Такая технология способствует восстановлению нарушенного баланса распределения нагрузки от перевозимых грузов после осуществления частичной погрузочно-разгрузочной операции. Автоматизация перемещения грузов способствует ускорению процесса погрузки-выгрузки.

4. Разработан и программно реализован метод перемещения грузов внутри вагона на основании алгоритмов поиска в ширину и A^* .

5. Разработан метод размещения груза в перспективном 8-ми вагонном высокоскоростном поезде без учёта совершения частичной погрузки-выгрузки на промежуточных остановочных пунктах на основе алгоритма полного перебора, исключающий возможность появления недопустимо лёгкого вагона в середине поезда.

6. Определены варианты расположения ULD в вагоне перед выгрузкой с целью наименьших затрат времени при выполнении погрузочно-разгрузочных работ. Предложен метод размещения грузов в вагоне перед началом выгрузки.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА, ОСНАЩЕННОГО СРСЦТ, В ЦЕПИ ПОСТАВОК

Планируется, что применение высокоскоростных поездов, оснащенных СРСЦТ, позволит значительно сократить время доставки груза конечному потребителю, уменьшить затраты на перевозку, а также уменьшить загруженность федеральных автомобильных дорог тяжелыми и габаритными грузовыми автомобилями.

3.1. Расчёт времени погрузки (выгрузки) вагона высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ

Время осуществления погрузки-выгрузки зависит от следующих показателей:

- количество выгружаемых ULD;
- количество погружаемых ULD;
- время перемещения одной единицы ULD;
- наличие возможности одновременной выгрузки/погрузки двух ULD;
- наличие возможности осуществить погрузку/выгрузку без выгрузки «ядра».

Возможность осуществления одновременной выгрузки зависит от расположения грузов внутри вагона перед началом выгрузки (пункт 2.5), а погрузки – от технических возможностей платформ на остановочных пунктах.

Опытным путем установлено, что перемещение ULD может происходить по следующим «правилам»:

1. Параллельное перемещение (перемещение в одном направлении).

Для перемещения в одном направлении возможен сдвиг одновременно нескольких рядом стоящих ULD.

2. Перпендикулярное перемещение.

Одно из ULD, находящееся в одном ряду с другими ULD смещается по направлению, перпендикулярному данному ряду. В отличие от параллельного перемещения здесь доступно только поочередное перемещение.

Поэтому с целью сокращения времени следует минимизировать перпендикулярные перемещения.

Окончательное размещение ULD по своим местам внутри вагона может осуществляться во время движения, поэтому следует стремиться распланировать очередь загрузки и схемы размещения ULD так, чтобы после закрытия дверей механизм смог беспрепятственно расположить грузы по назначенным местам, благодаря разработанному алгоритму (пункт 2.3).

Расчёт среднего времени погрузки/выгрузки промежуточного вагона производится двумя способами: при отсутствии и наличии возможности одновременного перемещения грузов в вагоне. На рисунке 3.1 определено количество перемещений, которые нужно совершить каждой ULD поочередно до платформы выгрузки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6	5	4	3	2	3	4	5	6
2	5	4	3	2	1	2	3	4	5

Двери

Рисунок 3.1 – Схема размещения ULD в вагоне

В таком случае механизм совершает 64 перемещения. Экспертно предполагается, что время выполнения одного перемещения ($t_{\text{перемещ.}}^{\text{ср}}$) составляет 12 с, а скорость ($V_{\text{перемещ.}}^{\text{ср}}$) равна 0,15 м/с. Тогда время, затрачиваемое на выгрузку полного вагона, будет приблизительно 12,8 мин, т.е. на 1 ULD в среднем уйдет 43 с.

Следуя правилу 1 возможно ускорить процесс выгрузки. Имеется в виду возможность чередовать выгрузку двух центральных ULD с дальнейшим смещением ближе к центру оставшихся сначала слева от центра, а затем справа. При таком способе количество перемещений составляет 26 «ходов», что быстрее первого варианта в 2,5 раза, или в среднем 17 с на каждый ULD, т.е.:

$$t_{\text{выгрузка}}^{\text{вагон}} = 17Q_{\text{в}} \quad (28)$$

где:

$Q_{\text{в}}$ – количество выгружаемых ULD.

Согласно п. 2.1 и рисунку 3.2 погрузка в вагон пары ULD совершается в три этапа:

1. Смещение погружаемой пары ULD на линию напротив дверей вагона – 1 «ход».
2. Непосредственно погрузка в вагон – 2 «хода».
3. Смещение внутри вагона на соседние места (при наличии еще грузов в очереди на погрузку) – 1 «ход».

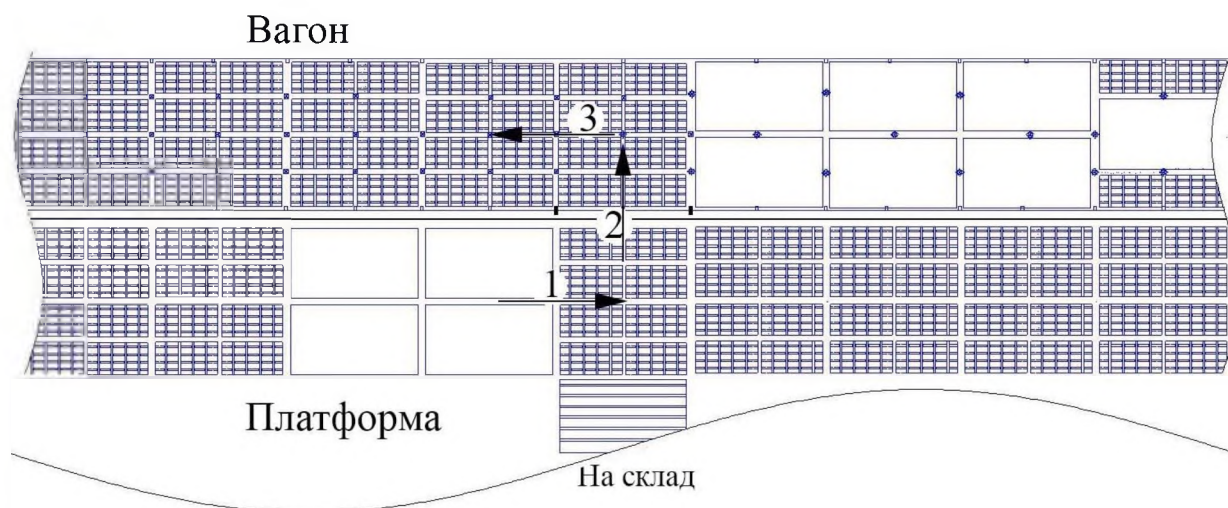


Рисунок 3.2 – Погрузка в вагон

При этом этапы 1 и 3 могут совершаться одновременно.

Время погрузки поезда ($t_{\text{погрузка}}^{\text{поезд}}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{\text{погрузка}}^{\text{вагон}} = S_{\text{п}} * t_{\text{перемещ}} \quad (29)$$

где:

$S_{\text{п}}$ – количество перемещений для погрузки n ULD.

Количество смещений для погрузки n ULD можно рассчитать по формуле:

$$s_{\Pi} = 4a_1 + 3(a_2 + a_3 + \dots + a_{n-1}) + 2a_n \quad (30)$$

где:

$a_1, \dots, a_n$ – порядковые номера пар ULD.

Следовательно, 18-ти местный вагон может быть загружен за 27 ходов или 5,4 мин (в среднем 18 с на каждый ULD)

3.2 Сравнительный анализ технических характеристик высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ, и грузового автомобиля

Для оценки преимуществ перспективного высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ, проведен сравнительный анализ технических характеристик рассматриваемого 8-вагонного поезда и грузового автомобиля грузоподъемностью 20 т (еврофуры).

В качестве основных сравниваемых показателей выбраны следующие (Таблица 3.1):

1. Грузоподъемность.
2. Объем перевозимых грузов.
3. Время погрузки-выгрузки одного грузового места.
4. Техническая скорость.
5. Количество грузовых мест.

Таблица 3.1 – Сравнимые параметры автомобильного и высокоскоростного железнодорожного транспорта

№ п/п	Наименование показателя	Автомобильный транспорт	Высокоскоростной железнодорожный транспорт			
			Вагон (промежуточный)	Поезд (8 вагонов)	Δ (Вагон/еврофура)	Δ (Поезд/еврофура)
1	Грузоподъёмность, т	20	~20	~150	1 раз	>7,5 раз
2	Объём перевозимого груза, м ³	90-120	~117*	~832*	>1,1-1,3 раза	>7-9,2 раз-
3	Время погрузки – выгрузки одного грузового места, мин	3**	~0,3***	~0,3***	<10 раз	<10 раз
4	Техническая скорость, км/ч	~60	~150	~150	>2,5 раза	>2,5
5	Количество грузовых мест****	33	18	128	<2 раза	>3,9 раз
* - в соответствии с п. 2.2 грузовой пакет сформирован из авиационных поддонов РYВ-Q6 с габаритами (2,438x1,4x1,9), которых в промежуточном вагоне 18 ед., в головном – 10 ед. ** - время погрузки-выгрузки одного грузового места весом 1-3 тонны автопогрузчиком из автомобильного транспорта указано в соответствии с [92]. Нормами учтено время на подготовительно-заключительные работы, обслуживание рабочего места, технологические перерывы, предусмотренные технологией погрузки-выгрузки грузов, отдых и личные надобности. *** - согласно п. 3.1 **** - для перевозки грузов на авто применяется европоддон, на поезде – РYВ Q6						

Согласно данным таблицы 3.1 грузоподъёмность промежуточного вагона идентична грузоподъёмности еврофуры, и, однако, 8-ми вагонный поезд по грузоподъёмности может заменить 7,5 еврофур. Вагон способен вместить груза на 15 - 45м³ больше евро фуры, что эквивалентно вместимости грузовика грузоподъёмностью 3-10 т. Грузовой объём поезда равен 9 еврофурам 90 м³ и 7 еврофурам 120 м³.

Время выгрузки поезда перевозящего 128 ULD будет меньше времени выгрузки грузового автомобиля, перевозящего 33 поддона почти в 18 раз.

По показателю технической скорости высокоскоростной поезд превосходит автомобиль в два с половиной раза.

Учитывая скоростные и объёмные показатели 8-ми вагонный поезд эквивалентен 18 еврофурам.

3.3 Базовая модель расчёта времени доставки груза с применением высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ, в цепи поставок

Условия сравнения:

- оба сравниваемых вида транспорта отправляются полностью загруженными;
- фура следует от пункта отправления до пункта назначения;
- поезд следует между транспортно-логистическими комплексами (ТЛК), доставка до ТЛК и до конечного потребителя осуществляется автомобильным транспортом, оснащённым механизмом автоматической погрузки-выгрузки;
- время оформления грузов к перевозке считать одинаковым и не учитывать.

Для определения времени доставки груза «от двери до двери» при смешанной перевозке (высокоскоростной поезд, автомобиль) и еврофуры составлена функциональная зависимость между следующими показателями:

1. Смешанная перевозка.

а) поезд:

- дальность маршрута;
- техническая скорость;
- количество промежуточных остановочных пунктов для совершения погрузочно-разгрузочных работ;
- наибольшее количество погружаемых и выгружаемых ULD из одного (расчётного) вагона на каждом остановочном пункте;
- время погрузки-выгрузки одного ULD.

б) автомобиль:

- дальность расположения грузоотправителя до пункта отправления поезда;

- техническая скорость;
- количество перевозимых ULD
- дальность расположения грузополучателя от пункта прибытия поезда;
- количество перевозимых ULD автомобилем;

в) общее:

- расстояние до перегружаемого транспорта;
- скорость перемещения ULD.

Расчётными вагонами на каждом остановочном пункте являются вагоны, совершающие наибольшее количество выгрузок и погрузок.

2. Еврофура.

- расстояние от грузоотправителя до грузополучателя;
- техническая скорость;
- количество перевозимых ULD.

Среднее время перевозки груза еврофурой ($T_{\text{авто}}$) вычисляется по формуле:

$$T_{\text{авто}} = t_{\text{погрузка}}^{\text{авто}} + t_{\text{в пути}}^{\text{авто}} + t_{\text{выгрузка}}^{\text{авто}} \quad (31)$$

где:

$t_{\text{погрузка}}^{\text{авто}}$ – время погрузки груза в пункте отправления на еврофуру;

$t_{\text{в пути}}^{\text{авто}}$ – время автомобиля в пути (техническая скорость);

$t_{\text{выгрузка}}^{\text{авто}}$ – время выгрузки груза в пункте прибытия с еврофуры.

Среднее время перевозки груза смешанным видом транспорта ($T_{\text{смеш.}}$) вычисляется по формуле:

$$T_{\text{смеш.}} = t_{\text{погрузка}}^{\text{авто спец.}} + t_{\text{до ст.отпр.}}^{\text{авто спец.}} + 2t_{\text{перегрузка}} + t_{\text{в пути}}^{\text{поезд}} + t_{\text{пром.ост.}}^{\text{поезд}} + t_{\text{до грузополуч.}}^{\text{авто спец.}} + t_{\text{выгрузка}}^{\text{авто спец.}}, \quad (32)$$

где:

$t_{\text{погрузка}}^{\text{авто спец.}}, t_{\text{выгрузка}}^{\text{авто спец.}}$ – время погрузки/ выгрузки в пункте отправления/назначения авто, адаптированного для перевозки ULD;

$t_{\text{до ст.отпр.}}^{\text{авто спец.}}, t_{\text{до грузополуч.}}^{\text{авто спец.}}$ – время движения автомобиля до пункта отправления поезда/грузополучателя;

$t_{\text{перезгрузка}}$ – время перегрузки с автомобиля на поезд (с поезда на автомобиль);

$t_{\text{в пути}}^{\text{поезд}}$ – время движения поезда в пути на определенном участке без учёта промежуточных остановок;

$t_{\text{пром.ост.}}^{\text{поезд}}$ – время, затрачиваемое поездом на осуществление погрузочно-разгрузочных работ.

Время затрачиваемое на промежуточные остановки ($t_{\text{пром.ост.}}^{\text{поезд}}$) вычисляется по следующей формуле:

$$t_{\text{пром.ост.}}^{\text{поезд}} = \sum_{i,j=1} (2t_{\text{о/з дверей}}^{\text{вагон}} + t_{\text{выгрузка } i}^{\text{вагон р}} + t_{\text{погрузка } j}^{\text{вагон р}}) \quad (33)$$

где:

i – порядковый номер остановочного пункта;

$t_{\text{о/з дверей}}^{\text{вагон}}$ – время открытия и закрытия дверей (5 с) вагона;

$t_{\text{выгрузка } i}^{\text{вагон р}}, t_{\text{погрузка } j}^{\text{вагон р}}$ – время погрузки и выгрузки расчётных вагонов

Время перегрузки считается по следующей формуле:

$$t_{\text{с авто спец. на поезд}}^{\text{перезгрузка}} = t_{\text{выгрузка}}^{\text{авто спец.}} + 50/0,15 + t_{\text{погрузка}}^{\text{поезд}} \quad (34)$$

где:

50 – расстояние между транспортными средствами, м.

0,15 – средняя скорость перемещения 1 ULD, м/с.

Рассмотрим следующий пример расчёта эффективности применения различных цепей поставок.

Из Серпухова (100 км от Москвы) в Набережные Челны (240 км) необходимо доставить 9 т груза. Рассматривается вариант перевозки еврофуры и смешанной перевозкой.

При полной загрузке еврофуры поддонами 1200x840 (33 ед.), каждый поддон должен весить не более 600 кг (20т/33ед). Следовательно, для перевозки 9 т груза потребуется 15 поддонов. В таблице 3.2 представлены необходимые данные для расчёта

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчёта времени доставки груза еврофурой

Расстояние Москва-Набережные Челны, км	Кол-во перевозимых поддонов, ед.	Техническая скорость, км/ч	Время погрузки - выгрузки одного грузового места, мин
1100	15	60	3

$$T_{\text{авто}} = 3 * 33 + \frac{1100}{60} + 15 * 3 = 20,4 \text{ ч}$$

Около 13% времени в пути (18 часов) тратится на погрузку-выгрузку. Здесь не учитывается время на вынужденные остановки (заправка, отдых).

Для расчёта времени доставки груза смешанным транспортом используются данные из таблиц 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Исходные данные для расчёта времени доставки груза смешанным транспортом

Расстояние Серпухов – Москва (для авто)	Расстояние Казань – Набережные Челны (для авто)	Расстояние Москва – Казань	Кол-во перевозимых ULD, ед.	Техническая скорость (авто), км/ч	Техническая скорость (поезда), км/ч	Время погрузки /выгрузки одного грузового места, мин
100	240	793	9	60	150	0,3

Таблица 3.4 – Данные по наибольшему количеству выгружаемых и погружаемых ULD отдельным вагоном на промежуточных остановочных пунктах по маршруту Москва-Казань

Название промежуточного остановочного пункта	Наибольшее количество выгружаемых ULD из отдельного вагона	Количество погружаемых ULD из отдельного вагона
Владимир	8	5
Нижний Новгород	15	10
Чебоксары	7	3

В таблице 3.5 приведены значения переменных, необходимые для решения задачи.

Таблица 3.5 – Значения переменных

Наименование показателя	Значение, ч	Удельный вес, %
$t_{\text{авто спец. погрузка}}$	0,045	0,4
$t_{\text{авто спец. до ст.отпр.}}$	1,6	13,7
$t_{\text{перегрузка}}$	0,22	1,9
$t_{\text{поезд в пути}}$	5,3	45
$t_{\text{поезд пром.ост.}}$	0,25	2,1
$t_{\text{авто спец. до грузополуч.}}$	4	34
$t_{\text{авто спец. выгрузка}}$	0,045	0,4
Всего:	11,68	100

В результате $T_{\text{смеш.}} = 11,68$ ч, что на 8,72 часа меньше, чем доставка груза еврофурой. Благодаря автоматизированной системе погрузки-выгрузки доля на погрузочно-разгрузочные работы составляет меньше 3%. Основное влияние на скорость доставки смешанной перевозкой приходится на время в пути обоих транспортных средств.

3.4 Выводы к главе

1. Выполнен экспертный расчет времени, необходимого для полной погрузки и выгрузки концептуального вагона. По полученным данным время осуществления погрузочно-разгрузочных работ составляет 5,5 мин.

2. Проведено сравнение основных технических характеристик проектируемого грузового поезда, оснащенного СРСЦТ и еврофуры. Отмечено превосходство железнодорожного транспорта по грузовому объёму, грузоподъёмности, времени совершения погрузочно-разгрузочных работ и скорости движения.

3. Составлена базовая модель расчёта времени доставки грузов от пункта отправления до пункта назначения автомобильными и смешанными (автомобиль, поезд) перевозками.

4. Приведен пример расчёта времени доставки груза по маршруту Москва – Казань представленными видами перевозок. В связи с внедрением автоматизации погрузочно-разгрузочных работ доля времени на погрузку-выгрузку в смешанных перевозках занимает менее 3% .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По теме диссертационной работы получены следующие результаты:

1. Основным доходом железнодорожной отрасли становятся перевозка массовых грузов, а также транзитные контейнерные перевозки. Для сохранения доли в перевозках высокодоходных грузов (второго и третьего тарифного класса) необходимы разработки новой тарифной политики, т. е. построение тарифов для различных грузов в зависимости от ценовой эластичности спроса на перевозку, и транспортных продуктов, адаптированных к тем или иным потребностям грузовладельцев.

2. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о наличии сектора транспортного рынка для реализации предлагаемой технологии высокоскоростных грузовых перевозок на железнодорожном транспорте России.

3. Разработана концепция СРСЦТ для перспективного высокоскоростного грузового поезда, перевозящего транспортные пакеты (схожие по габаритам, но различны по массе), осуществляющего частичные погрузочно-разгрузочные работы. СРСЦТ, обеспечивает безопасность движения поездов благодаря автоматическому регулированию положения центра тяжести вагона, а также повышает скорость доставки грузов.

4. Разработана схема устройства пола вагона перспективного грузового высокоскоростного поезда, перевозящего тарно-штучные грузы в транспортных пакетах с применением авиационных поддонов РУВ-Q6, оснащенного механизмом, способным автоматически перемещать и фиксировать перевозимые ULD внутри вагона по технологии, схожей с применяемой в авиации, а также осуществлять погрузочно-разгрузочные работы.

5. Разработан алгоритм работы механизма для перемещения перевозимых ULD внутри вагона, т. е. переход из начального состояния расположения грузов в конечное, основанный на алгоритмах поиска в ширину и A^* , представленный в

виде задачи поиска между двумя вершинами конечного неориентированного графа. Осуществлена программная реализация.

6. Разработан оптимизационный метод размещения груза в вагонах перспективного высокоскоростного поезда на основе алгоритма полного перебора, исключающий возможность появления недопустимо лёгкого вагона в середине поезда в отличие от существующего метода погрузки проектного поезда СТХ.

7. Разработаны допустимые варианты расположения ULD в вагоне перед выгрузкой с целью наименьших затрат времени при выполнении погрузочно-разгрузочных работ. Разработан метод размещения грузов в вагоне перед началом выгрузки. Алгоритм размещения представлен в графическом виде.

8. Проведен сравнительный анализ основных технических показателей, влияющих на скорость, массу и объём доставки груза между грузовым автомобилем (еврофуры) и перспективным высокоскоростным грузовым поездом. Разработана модель расчёта времени доставки груза в смешанных перевозках (автомобиль и перспективный высокоскоростной грузовой поезд) «от двери до двери».

Список использованных источников

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 [Текст]: утв. Правительством Российской Федерации 19.03.2019. – М.: 135 с.
2. Вакуленко, С. П. Перспективы реализации новой технологии ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом [Текст] / С. П. Вакуленко, М. Н. Прокофьев // Труды Десятой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» - М.: МИИТ. – 2009. – С. 112-113.
3. Вакуленко, С. П. Новая технология ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом [Текст] / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, М. Н. Прокофьев // Транспорт Российской Федерации. – М: «Т-ПРЕССА». – 2014. – № 2 (51). – С. 47-49.
4. Вакуленко, С. П. Новая технология ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом в рамках транспортной стратегии России [Текст] / С. П. Вакуленко, М. Н. Прокофьев // Труды Международной научнопрактической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы развития БАМа» – М.: МИИТ.– 2010. – С. 263-265.
5. Колин, А. В. Возможности скоростной перевозки грузов: эксплуатационная работа [Текст] / А. В. Колин, В. А. Котов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 3. – С. 20-23.
6. Павлов, А. И. Исследование вопросов организации движения ускоренных грузовых поездов [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Павлов А. И. – М. – 1959. – 156 с.
7. Прокофьев, М.Н. Совершенствование технологии ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Прокофьев Михаил Николаевич. – М. – 2017. – 217 с.
8. Прокофьев, М. Н. Предпосылки и условия реализации новой технологии ускоренных грузовых перевозок железнодорожным [Текст] / М. Н. Прокофьев //

Труды VII Международной научно-практической конференции «TRANS-MECHART-CHEM»; под ред. А. А. Выгнанова. - М.: МИИТ, 2010. – С. 287-289.

9. Post&Parcel. Deutsche Post and Deutsche Bahn expand co-operation [Электронный ресурс] // Post&Parcel. – 2003. – Режим доступа: <http://postandparcel.info/8567/companies/deutsche-post-and-deutsche-bahn-expand-co-operation/>.

10. Post&Parcel. DHL and Stinnes Intermodal transport more goods by rail [Электронный ресурс] // Post&Parcel. – 2005. – Режим доступа: <http://postandparcel.info/12396/companies/dhl-and-stinnes-intermodal-transport-more-goods-by-rail/>.

11. Deutsche Post DHL. Parcel Intercity - Mit 160 Sachen umweltfreundlich durch Deutschland [Электронный ресурс] / Deutsche Post DHL // Competence Site. - 2010. – Режим доступа: <http://www.competence-site.de/green-logistics/parcel-intercity-mit-160-sachen-umweltfreundlich-durch-deutschland>.

12. Lorry Rail [Электронный ресурс] // Lorry Rail. – Режим доступа: <http://www.lorryrail.com/home/>.

13. Wikipedia the free encyclopedia. British Rail Class 325 [Электронный ресурс] // Wikimedia Foundation, Inc. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/British_Rail_Class_325.

14. Контейнерные перевозки в Японии [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. – № 5 – С. 9-13.

15. Гафуров, Х. Л. Технология ускоренной перевозки плодоовощных грузов [Текст]: автореф. дисс. канд. технич. наук / Х. Л. Гафуров. – М. – 1972. – 20 с.

16. Мирхамидов, Ш. Ш. Технология ускоренной перевозки плодоовощных грузов [Текст]: автореф. дисс. канд. технич. наук / Ш.Ш. Мирхамидов. – М. – 1990. – 25 с.

17. Прокофьев, М. Н. Организация пропуска ускоренных грузовых поездов в транспортном коридоре Санкт-Петербург - Москва [Текст] / М. Н. Прокофьев // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления

перевозочным процессом»; под общей ред. В. Н. Морозова и Ю. О. Пазойского. - М.: ВИНТИ РАН. – 2015. – С.116-117.

18. Прокофьев, М. Н. Отечественный и зарубежный опыт ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом [Текст] / М. Н. Прокофьев // Труды X Международной научно-практической конференции «TRANS-MECH-ART-CHEM»; под ред. В. Н. Глазкова. – М.: МИИТ. – 2014. – С. VI-24-25.

19. Каринэ, М. Ускоренный контейнерный поезд. Новый вид железнодорожной транспортировки грузов [Текст] / М. Каринэ // издание Строительство и городское хозяйство; приложение: Дороги, мосты, тоннели. – 2007. – № 1.

20. Прокофьев, М. Н. Доставка груза в мегаполис ускоренными поездами [Текст] / М. Н. Прокофьев // Труды Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта». – М.: МИИТ. – 2011. – С. 91-92.

21. Прокофьев, М. Н. Маршрутная сеть ускоренных перевозок [Текст] / М. Н. Прокофьев // Мир транспорта. – 2010. – № 5. – С. 78-83.

22. Грачев, С. А. Выбор рационального варианта перевозки грузов мелкими отправлениями на железнодорожном транспорте [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Грачев Сергей Александрович. – М. – 2006. – 146 с.

23. Савельев, М. Ю. Выбор оптимальных параметров системы освоения потоков пассажиров, багажа и грузобагажа на сети железных дорог Российской Федерации [Текст]: автореф. дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Савельев Максим Юрьевич. – М. – 2015. – 24 с.

24. Ziolkowski, M. F. The ties that bind: freight and passenger high-speed rail are interdependent [Electronic resource] //J. Transp. Geogr.– 2012. – vol. 22. – С. 292-294. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.017>.

25. Liang, X-H., Tan, K-H., Whiteing, A. Parcels and Mail by High Speed Rail – A Comparative Analysis of Germany, France and China [Electronic resource] // Journal of Rail Transport Planning & Management.– 2016. –6 (2). –С. 77-88.

26. Lin, Z., Yu, Q. The feasibility of express freight transport on high-speed railway [Electronic resource // Railway Economics Research. – 2012. – 4. – С 1-5 (In Chinese).

27. Gong, P. The feasibility analysis on express and courier transport on high speed railway [Electronic resource] // Global Market Information Guidance – 2011. – 4. – С. 54-55 (In Chinese).

28. ВСМ «Евразия» // Официальный сайт АО «Скоростные магистрали». Режим доступа: <http://www.hsrail.ru/info/silkway/>.

29. Маринин, В. Китайский расчет: как дорогу через Россию в Европу признали убыточной [Электронный ресурс] // РБК. Режим доступа: www.rbc.ru/business/20/06/2018/5b28c3059a794751862a94fb?from=main.

30. Безруков, Д.Д. Концепция системы регулирования смещения центра тяжести вагонов перспективного багажного высокоскоростного поезда. [Текст] / Д.Д. Безруков // Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции «Новейшие достижения в науке и образовании» – МНИЦ «Наукосфера». – 2020. – С. 33-36.

31. Хусаинов, Ф.И. Влияние структуры погрузки и грузооборота на доходность грузовых перевозок ОАО «РЖД» [Текст] // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – №3 (76). – С. 29-32.

32. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/>.

33. Транспорт в России. 2018 [Текст] // Росстат. – М.: 2018. – 101 с.

34. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики [Текст] // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. – 2019. – № 53. – 28 с.

35. Белов, И. В. Экономика железнодорожного транспорта [Текст] : учеб. / И. В. Белов, В. Г. Галабурда, В. Ф. Данилин [и др.] ; под ред. И. В. Белова. – М.: Транспорт. – 1989. – 351 с.

36. Гусаченко, Н. Конкуренция железной дороги и трубопровода: кто победит в 2020 году? [Электронный ресурс] // РЖД Партнер. – 2020. –

Режим доступа: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/comments/konkurenciya-zheleznoy-dorogi-i-trudoprovoda-kto-pobedit-v-2020-godu/>.

37. Поликарпов, А. Как повысить привлекательность железнодорожного транспорта для грузовладельцев [Текст] / А. Поликарпов, Д. Нарезный, Р. Голинат // Экономика железных дорог. – 2018. – №6. – С. 35-41.

38. Лapidус, Б. М. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: Теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее [Текст] / Б. М. Лapidус, Д. А. Мачерет. – М.: КРАСАНД. – 2014. – 234 с.

39. Лapidус, Б. М. Методическое обеспечение рыночных механизмов экономического управления на железнодорожном транспорте [Текст] : монография / Б. М. Лapidус, Д. А. Мачерет, А. В. Рышков и др.; под общ.ред. Б. М. Лapidуса, Д. А. Мачерета. – М.: МЦФЭР. – 2007. – 160 с.

40. Кудияров, С. Транзит породил контейнерный бум [Электронный ресурс] // Эксперт. – 2018. – №4 Режим доступа: <https://expert.ru/expert/2018/04/tranzit-porodil-kontejnernyij-bum/>.

41. Холопов, К. В. Российский рынок международного контейнерного транзита в 2019 году и перспективы его развития [Текст] / К. В. Холопов, П. Е. Раровский // Российский внешнеэкономический вестник. – 2019. – №9. – С. 61-68.

42. Морозов, В.Н. Развитие контейнерных перевозок и логистических терминалов ОАО «РЖД» в международных транзитных сообщениях [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №12. – С.7-11.

43. Морозов, В. Н. Системная организация мультимодальных транспортных коридоров [Текст]: дисс. канд. техн. наук: 08.00.28 / В.Н. Морозов; Академия гражданской авиации (СПб.). – М. – 2000. – 149 с.

44. Багинова, В. В. Новый импульс к развитию международного транспортного сотрудничества [Текст] / В. В. Багинова, Д. К. Каримова // Соискатель – приложение к журналу «Мир Транспорта» – М.: МИИТ. – 2015 – С. 14-17.

45. Мачерет, Д. А. О повышении эффективности железнодорожных перевозок контейнеропригодных грузов [Текст] / Д. А. Мачерет, В. И. Дубровина // Экономика железных дорог. – 2011. – № 12. – С. 22-30.

46. Логинов, Н. Драйверы для контейнеров [Электронный ресурс] // Гудок. – 2018. – № 11 (26384) Режим доступа: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1402366&archive=2018.01.25>

47. Белорусская железная дорога отправит первый пилотный контейнерный поезд в Китай с продукцией, произведенной в Беларуси [Электронный ресурс] // официальный сайт БЖД. – 2017 Режим доступа: https://www.rw.by/corporate/press_center/corporate_news/2017/05/belorusskaja_zheleznaja_dor840/.

48. Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге «РЖД» [Текст] // ОАО «РЖД». – 2011. – 71с.

49. Мачерет, Д. А. Сущность конкуренции и ключевые условия ее развития на транспортной инфраструктуре [Текст] / Д. А. Мачерет // Вектор транспорта. – 2014. – № 1. – С. 18-21.

50. Пехтерев, Ф. С. Железные дороги в системе транспортных коммуникаций России: проблемные вопросы и пути их решения: монография [Текст] / Ф. С. Пехтерев. – М : ИПП «КУНА». – 2012. – 488 с.

51. Лукьянова, О. В. Проблемы конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта [Текст] / О. В. Лукьянова, Ф. И. Хусаинов // Экономика железных дорог. – 2013 – № 12. – С. 64–78.

52. Анохин, К. Как догнать фуры? [Электронный ресурс] // РБК+. – 2018. – № 6. – Режим доступа: <https://plus.rbc.ru/news/5b0e0ee27a8aa92b3247e2b9>

53. Оптимизация управления интермодальными цепями поставок товаров [Текст]: метод. указ. к курсовому проектированию по дисц. «Оптимизация управления интермодальными цепями поставок внешнеторговых грузов» для студ. спец. Организация перевозок и управление на транспорте (ж.-д. трансп.) / Е.Д. Бабанина, Н.Ю. Лахметкина, В.М. Николашин, А.С. Сеницына ; МИИТ. Каф.

«Логистические транспортные системы и технологии». – М.: МИИТ. – 2008. – 96 с.

54. Поспелова, Л. Н. Состояние транспортно-экспедиционного обслуживания на железнодорожном транспорте в России [Текст] / Л. Н. Поспелова // Транспортное дело России. – 2015 – №2 – С.149-151.

55. Ермоленко, М. Примыкающих все меньше [Электронный ресурс] // РЖД Партнер. – 2015. – Режим доступа: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/primykaiushchikh-vse-menshe/>

56. Резер, С. М. Контейнеризация грузовых перевозок [Текст]. – М.: ВИНТИ РАН. – 2012 – 678 с.

57. Резер, А.В. Методология управления интегрированными транспортно-логистическими системами [Текст]: дисс. док. экономич. наук: 08.00.05 / Резер Алексей Владимирович. – М. – 2015. – 348 с.

58. Бубнова, Г. В. Модели управления маркетингом грузовых перевозок [Текст] : монография / Г. В. Бубнова. – М. : Маршрут. – 2003. – 256 с.

59. Бубнова, Г. В. Условия формирования маркетинговой модели продаж транспортных услуг [Текст] / Г. В. Бубнова // Экономика железных дорог. – 2002. – № 10. – С. 51-60.

60. Статистика рынка автомобильных грузоперевозок ЕС-РФ [Электронный ресурс] // Аналитическое бюро Eurostatika – 2018. – Режим доступа: <http://eurostatika.com/news/429/>.

61. Романенко, А. Обзор российского транспортного сектора в 2017 году [Текст] // КПИМГ в России и СНГ – 2018 – 72с.

62. Савчук, В. Аспекты конкуренции между железнодорожным и автомобильным транспортом [Электронный ресурс] / В. Б. Савчук // Транспорт. – 2013. – № 12. – Режим доступа: <http://ipem.ru/news/publications/764.html>.

63. Слободяник, А. Ю. Влияние межвидовой конкуренции на структуру и объемы железнодорожных перевозок грузов [Текст] / А. Ю. Слободяник // Экономика железных дорог: журнал для руководителей и финансово-экономических работников. – 2016. – № 9. – С. 62-67.

64. Козырев, В. А. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта при учете опасных дестабилизирующих факторов / В. А. Козырев, И. Ю. Лавренчук./ Безопасность движения поездов: Труды девятой научно-практической конференции (30-31 октября 2008 г., г. Москва) – М.: МИИТ. – 2008. – С. 15-16.

65. Ефимова, О.В. Технология непрерывного совершенствования бизнес-модели перевозочной деятельности по методу POP : научное издание / О.В. Ефимова, В.А. Морозов. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2011. – № 4. – С. 35-41.

66. Redoutey, D. Le matériel moteur de la SNCF [Electronic resource] // La Vie du Rail. — Paris, — 2007. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/TGV_La_Poste.

67. Cuynet, J. La traction électrique en France 1900–2005 [Electronic resource] // La Vie du Rail. — Paris – 2005. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/TGV_La_Poste.

68. Troche, G. High-speed rail freight [Text]: report / Troche Gerhard // KTH Royal Institute of Technology – Stockholm. – 2005. – 93 с.

69. Barrow, K. Last post for French high-speed freight as postal TGVs bow out [Electronic resource] // International railway journal. – 2015 – №6 – Режим доступа: <https://www.railjournal.com/freight/last-post-for-french-high-speed-freight-as-postal-tgvs-bow-out/>.

70. Итальянский оператор Mercitalia в ноябре запустит услугу высокоскоростных грузовых перевозок [Электронный ресурс] // Железные дороги мира. – 2018. – Режим доступа: <http://www.zdmira.com/news/italanskijoperatormercitaliavnoabrezapustitusluguvsokoskorostnyhgruzovyhperevozok>.

71. Strale, M. High-Speed Rail for Freight: Potential Developments and Impacts on Urban Dynamics [Text] // The Open Transportation Journal. – 2016. – №10 – С. 57-66.

72. Hayes, M. Market Conditions for Fast Freight Trains [Text] / M. Hayes, W. Lowe // Jernbaneverket Norwegian High Speed Railway Assessment Project. – 2011 – 131 с.

73. Do, W. A study on selection of appropriate commodity for CTX system [Text] / W. Do, D. Park, H. Park, J. Park // Материалы к весенней конференции Корейского железнодорожного общества. – 2014 – 6 с.

74. Oh, J. A study on future demand forecasting for CTX, the Cargo Train eXpress [Text] / J. Oh, D. Park, H. Park, J. Park, K. Yang // Материалы к весенней конференции Корейского железнодорожного общества. – 2015 – 5 с.

75. NGT CARGO [Electronic resource] // Официальный сайт NGT CARGO. – Режим доступа: https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2017/20170413_ngt-cargo-what-freight-trains-of-the-future-will-look-like_21934.html.

76. DLR Portal [Electronic resource] // Официальный сайт DLR – <https://verkehrsforschung.dlr.de/en/projects/ngt-cargo>.

77. Представление о грузовом подвижном составе [Электронный ресурс] // Официальный сайт CRRC CRC. – Режим доступа: <http://www.crrcgc.cc>.

78. Высокоскоростной железнодорожный подвижной состав для ВСМ. Технические требования [Текст]. М.: ОАО «РЖД». – 2015.

79. Прокофьев, М. Н. Новый вагон стеллажного типа [Текст] / М. Н. Прокофьев // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 11. – С. 55.

80. Noh, D-j. A multi-leg load-planning algorithm for a high-speed freight train [Text] / D-j. Noh, B-I. Kim, H. Cho, J-S. Park // International Journal of Industrial Engineering. – 2016. – 23(3). – С. 183-194.

81. Garey, M. Computers and Intractability: a guide to the Theory of NP-Completeness [Text] / W. H. Freeman & Co, USA. – 1979.

82. Кормен, Т. Х и др. Глава 34. NP-полнота [Text] // Алгоритмы: построение и анализ. — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. — 1296 с. — ISBN 0-07-013151-1.

83. Хопкрофт, Д., Мотвани Р., Ульман, Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений/ Д. Хопкрофт, Р. Мотвани, Д. Ульман // М.: «Вильямс», 2002. — 528 с. — ISBN 0-201-44124-1.

84. Кощев, И. С. Оптимизация доставки груза потребителям с учетом его размещения внутри транспортных средств на основе эвристических методов [Текст] дисс. канд. тех. наук : 05.13.01 / Кощев Иван Сергеевич. – Уфа, 2015. – 133 с.

85. Валеева, А.Ф. Применение метаэвристики «имитация отжига» для задачи гильотинного прямоугольного раскроя [Текст]/ А. Ф. Валеева, Т. Ю. Сиразетдинова // Междунар конф. по математике и физике для студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа. – 2005. – С. 99.

86. Gehring, H. A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem [Text] / H. Gehring, A. Bortfeld // International transactions in operational research. – 1997. – Т. 4, 5/6. – С. 401-418.

87. Lurkin, V. The airline container loading problem with pickup and delivery [Text] / V. Lurkin, M. Schyns // European Journal of Operational Research – 2015. – 28 с.

88. Bruns, F. Optimized load planning of trains in intermodal transportation [Electronic resource] / F. Bruns, S. Knust // OR Spectrum – 2012. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/225583548_Optimized_load_planning_of_trains_in_intermodal_transportation.

89. Правила перевозок железнодорожным транспортом грузов мелкими отправлениями [Текст]: утв. МПС РФ 18.06.2003.: ввод в действие с 30.06.2003 – Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом. Сборник — книга 1 — М.: Юридическая фирма «Юртранс». – 2003 – 712 с.

90. Полярин, Ю. Технология погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ с пакетами [Электронный ресурс] // Склад и техника. – 2005 – №7. Режим доступа: <https://sitmag.ru/article/9979-tehnologiya-pogruzochno-razgruzochnyh-i-transportno-skladskih-rabot-s-paketami>.

91. Правила перевозок грузов автомобильным транспортом [Текст]: утв. Правительством РФ 15.04.2011.: ввод в действие с 24.07.2011. – Собрание законодательства РФ. – 2011 – № 17.

92. Межотраслевые нормы времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складские работы [Текст]: утв. Министерством труда и социального развития Российской Федерации 17.10.2000: М.: Центрмг. – 2019. – 152 с.

93. Погрузочный док для аэропортов [Электронный ресурс] // сайт Аэро Экспо Режим доступа: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/saco-airport-equipment/product-168922-19383.html>.

94. Корнеев, В. М. Особенности работы лоуд-мастера грузового самолета [Текст] / В. М. Корнеев // Издательские решение. – 2018. – 60 с.

95. Корнеев, В. М. Самолёт А320. Анализ конструкции и лётной эксплуатации [Текст] / В. М. Корнеев // Издательские решение – 2016. – 70 с.

96. Hong Ha, H. T. Air Cargo Loading Management System for Logistics Forwarders [Text] / H. T. Hong Ha, N. Nananukul // Proceedings of 2016 International Conference on Urban Planning, Transport and Construction Engineering – Pattaya – 2016. – p. 51–58.

97. ГОСТ 21787-76 Оборудование напольное самолетов и вертолетов для погрузки, выгрузки и швартовки универсальных авиационных контейнеров и авиационных поддонов [Текст]. – Введ. 1977-07-01 – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.

98. ГОСТ Р 53428-2009. Оборудование бортовое и наземное для обслуживания авиационных грузовых перевозок. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2009-11-26. – М. : Стандарт информ, 2010. – 32 с.

99. Вакуленко, С.П. Перспективная технология работы грузовых терминалов с высокоскоростными поездами / С. П.Вакуленко, А.М. Насыбуллин, Л. Р. Айсина, К. А. Калинин // XIX Всероссийская научно - практическая конференция «Безопасность движения поездов» –М: РУТ (МИИТ) 2018. – № 6 – С. 74-77.

100. ГОСТ 9570-2016. Поддоны ящичные и стоечные. Общие технические условия [Текст]; введ. 2017-11-01 –Москва : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ 2019. – 24 с.

101. ГОСТ 33757-2016. Поддоны плоские деревянные. Технические условия [Текст]; введ. 2017-05-01 – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ 2019. – 22 с.

102. ГОСТ 33759-2016. Поддоны полимерные многооборотные. Общие технические условия [Текст]; введ. 2017-05-01 – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ, 2016. – 19 с.

103. ГОСТ 18477-79. Контейнеры универсальные. Типы, основные параметры и размеры [Текст]. – Введ. 1980-01-01 – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 12 с.

104. Ефимов, Г.П, Коган Л. А. Новые типы автопогрузчиков малотоннажных контейнеров и поддонов [Текст] / Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1960. – Выпуск 183. – С. 104.

105. Спецификация паллет и контейнеров [Электронный ресурс] // Air Bridge Cargo. Режим доступа: https://www.airbridgecargo.com/ru/page/70/tipw-pallet-i-kontejnerov-uld_

106. Спецификация паллет и контейнеров [Электронный ресурс] // Cargolux. Режим доступа: <https://www.cargolux.com/Our-Expertise/cargo-equipment/ulds>.

107. Безруков, Д.Д. Технология автоматического перемещения грузов в вагонах перспективных высокоскоростных грузовых поездов / Д.Д. Безруков, Е.А. Пономарёв // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2019. – №5. – С. 36-42.

108. Лёвин, Б.А. Теория адаптивных систем навигации и управления железнодорожного транспорта на основе глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС и навигационных функций [Текст] / Б. А. Лёвин, С. И. Матвеев, И. Н. Розенберг // Российская акад. наук, ВИНТИ РАН. – М.: ВИНТИ РАН, – 2014. – 109 с.

109. Лёвин, Б. А. Логистический менеджмент на транспорте [Текст] : монография / Б. А. Лёвин, Л. Б. Миротин, А. К. Покровский ; Российская академия наук. - Москва : ВИНТИ РАН, 2018. – 229 с.

110. Апатцев, В. И. Вопросы автоматизации информационных процессов на промышленном и магистральном транспорте / В. И. Апатцев // МИИТ. Труды : межвузовский сборник. Вып. 791. Методы интенсификации процессов грузовой и коммерческой работы железных дорог / Под общ. ред. А.А. Смехова. // М.: [б. и.], 1988. – С. 43-48.

111. Мизинцева, М. Ф. Информационные механизмы развития региональных хозяйственных систем / М.В. Мизинцева // М-во образования Рос.Федерации. Волгоград. гос. ун-т. - Волгоград : Изд-во Волгоград. гос. ун-та, 2001. – 328 с.

112. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей [Текст]. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003. — 288 с.

113. Кирсанов М. Н. Графы в Maple [Текст]. — М.: Физматлит, 2007. – С. 151–154.

114. Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях [Текст]. — М.: ДМК Пресс, 2004. – С. 25–42.

115. Перекрестный транспортер ООО «Крандеталь» [Электронный ресурс] // Объявление о продаже. Режим доступа: <https://www.prostanki.com/board/item/169425>.

116. Конвейер ролико-цепной продольно-приводной // Официальный сайт производителя [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://roskonveer.ru/?p=348>.

117. Air cargo on the road [Электронный ресурс] // Road air cargo Europe. Режим доступа: <http://roadaircargo.eu/>.

118. Woolsey Johnson, Wm. Notes on the "15" Puzzle [Text]/ Wm. Woolsey Johnson, William E. Story // American Journal of Mathematics, 1879. – Vol. 2. – No. 4. – С. 397- 404.

119. Archer, A. F. A modern treatment of 15 puzzle [Text] // The American Mathematical Monthly. – 1999. – Vol. 106, No. 9. – С. 793-799.

120. Dechter, R. Generalized best-first search strategies and the optimality of A* [Text] / R. Dechter, J. Pearl // Journal of the ACM. – 1985. – Т. 32, № 3. – С. 505 - 536.

121. Вершинский, С.В. Динамика вагона. [Текст] / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д, Хусидов. – М.: Транспорт, 1991.– 358с.

122. Безруков, Д. Д. Технология оптимального размещения грузов в вагонах перспективных высокоскоростных грузовых поездов / Д. Д. Безруков, А. Д Луканькин // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление» – 2020. – №5. – С. 41-46.

123. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах [Текст]: утв. МПС РФ 27.05.2003. М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003—545 с.

124. Туранов, Х.Т. Размещение и крепление грузов в вагонах [Текст] / Учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта: – Екатеринбург: УрГУПС, 2007. – 365 с.

125. Туранов, Х.Т. Аналитическое обоснование технологии несимметричного размещения общего центра масс грузов в вагонах [Текст] // Транспорт Урала, 2009. – 1 (20) – С. 31-35.

126. Туранов, Х.Т. Математическое моделирование рамных сил при движении подвижного состава с несимметрично размещённым грузом [Текст] / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов // Транспорт Урала, 2011. – № 2. С. 47-51.

127. Янковская, Н. Г. Методические основы расчета крепления транспортных пакетов в крытых вагонах [Текст] : диссертация. кандидата технических наук : 05.22.08 / Янковская Наталья Григорьевна; [Место защиты: Петерб. гос. ун-т путей сообщ.]. - Санкт-Петербург, 2008. – 139 с.

Публикации

Материалы диссертационного исследования опубликованы в 5 научных статьях, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК России, – 2 работы.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

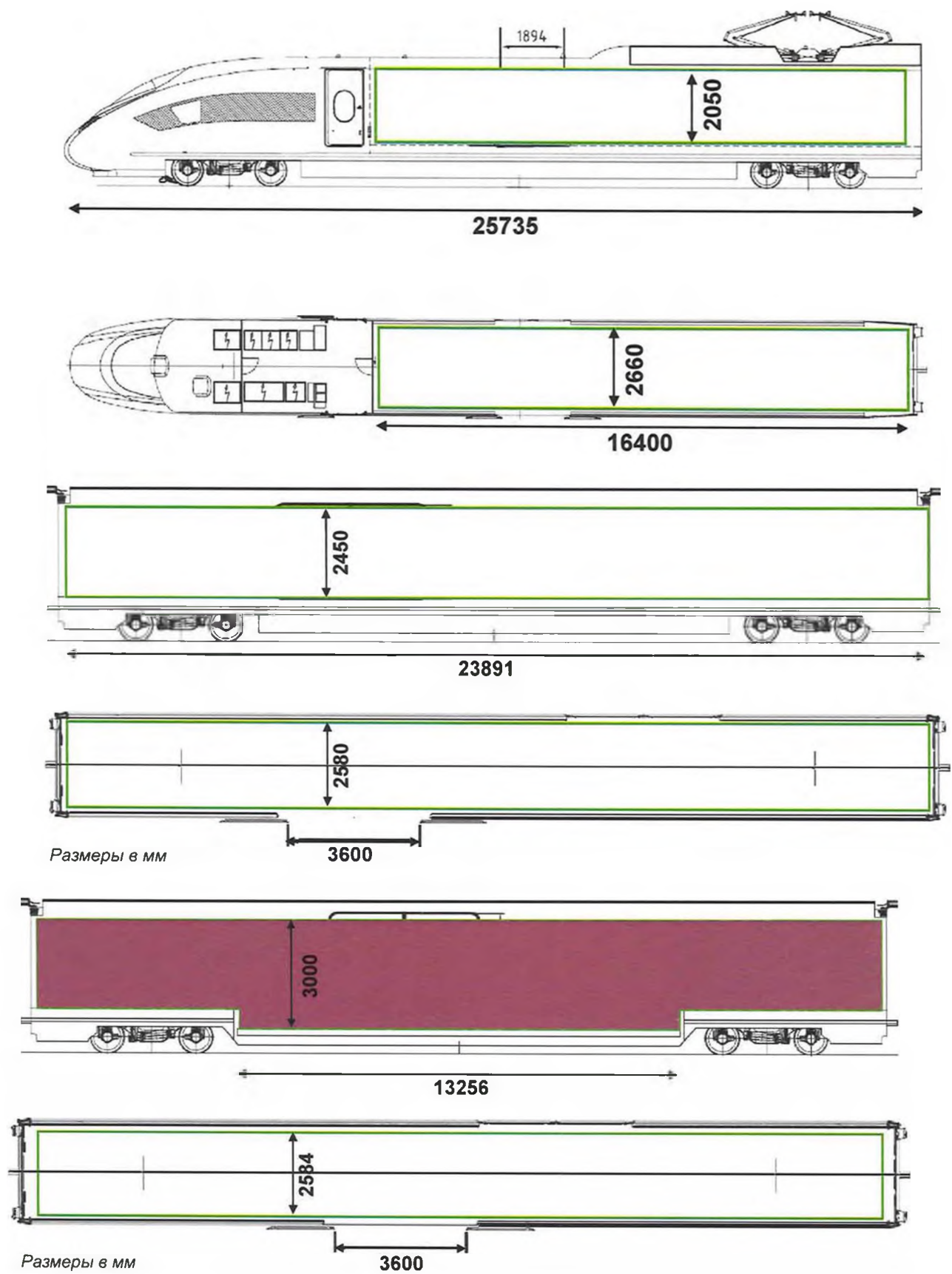


Рисунок А.1 – Проект Siemens Velaro Cargo

Приложение Б

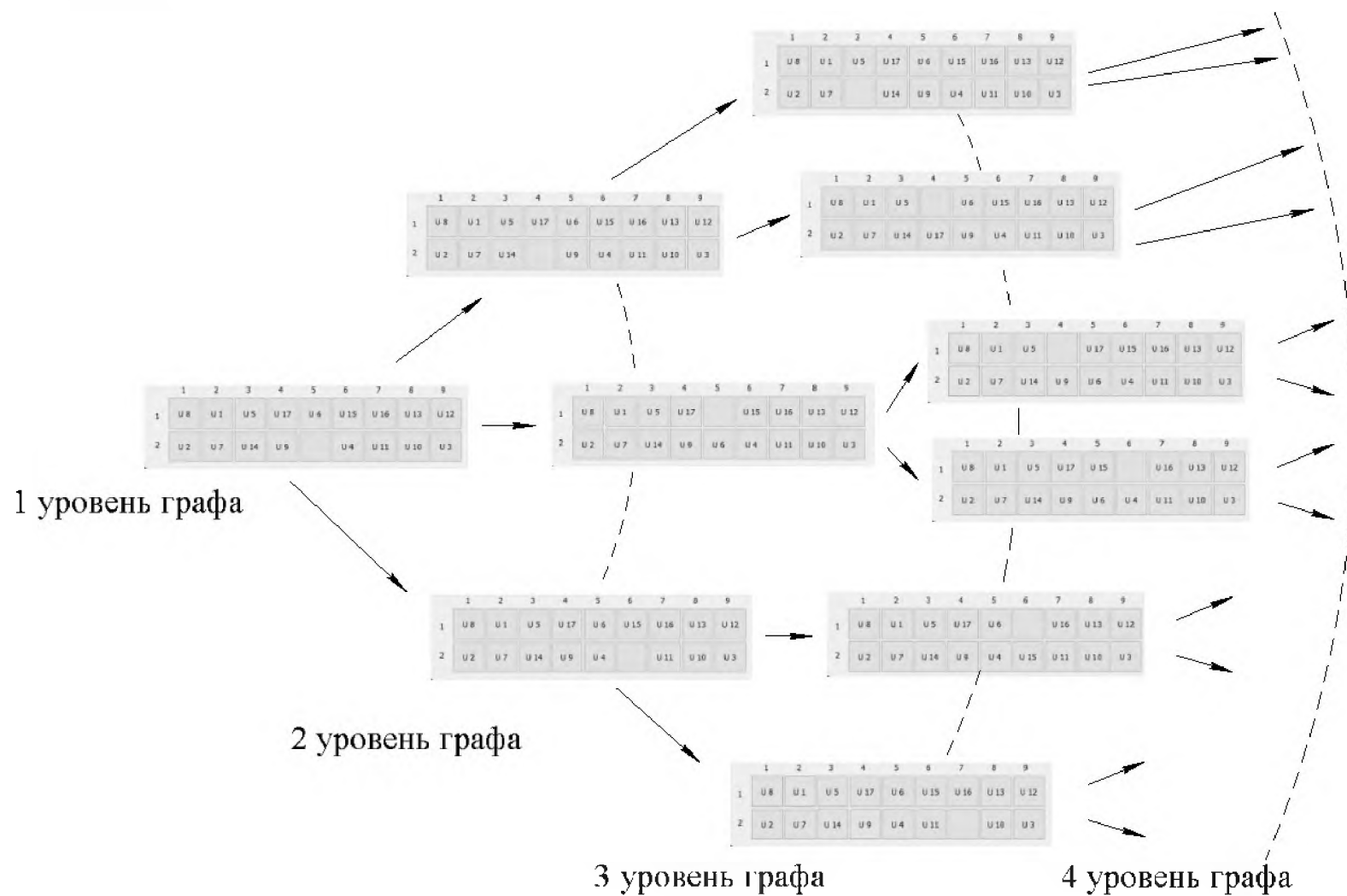
Таблица Б.1 – Параметры грузовых единиц

Наименование тары	Основной размер пакета на поддоне/ в контейнере Д x Ш x В, мм	Высота поддона	Объем перевозимого груза, м³	Масса поддона/ контейнера брутто, кг, не более**	Масса поддона/ контейнера, кг, не более
1	2	3	4	5	6
Поддон деревянный	1240x840x1350	~150	1,3	1000-1250***	40
Поддон пластиковый				500-1200	5-18
Поддон деревянный	1240x1040x1350		1,6	1350	45
Поддон пластиковый				600-1200	15-18
Поддон пластиковый	1500x1180x1700*	~180	2,7	1100-1500	21,5-24
Поддон деревянный	1680x1240x1700		3,2	2000	80
	1880x1240x1700		3,5	3200	95
Малотоннажный контейнер АУК-0,625	1150x1050x1700	н/д	1,4	625	200
Авиационный поддон РУВ-Q6	2438x1400x2438	н/д	6,5	2689	100

Таблица Б.2 – Количественные характеристики при размещении пакетов в вагоне

Наименование тары	Основной размер пакета Д x Ш x В, мм	Наибольшее кол-во пакетов в вагоне, ед.	Наибольший объём перевозимого груза в пакетах, м3	Эффективность использования объёма кузова вагона, %	Средняя масса одного пакета при полностью загруженном вагоне, кг	Использование потенциала грузоподъёмности поддона при полностью загруженном вагоне, %	Масса тары при полной загрузке вагона, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Поддон деревянный	1240x840x1350	56	72,8	64	357	35,7-28,6	2240
Поддон пластиковый						30-71	280-1008
Поддон деревянный	1240x1040x1350		89,6	79		26,5	2520
Поддон пластиковый						30-60	840-1008
Поддон пластиковый	1500x1180x1700*	32	86,4	76	625	41,2-56,8	688-768
Поддон деревянный	1680x1240x1700	28	89,6	79	714	35,7	2240
	1880x1240x1700	25	87,5	77	800	25,0	2375
Малотоннажный контейнер АУК-0,625	1150x1050x1700	44	61,6	54	454	72	8800
Авиационный поддон РУВ-Q6	2438x1400x2438	18	117	102	1111	41	1800

Приложение В



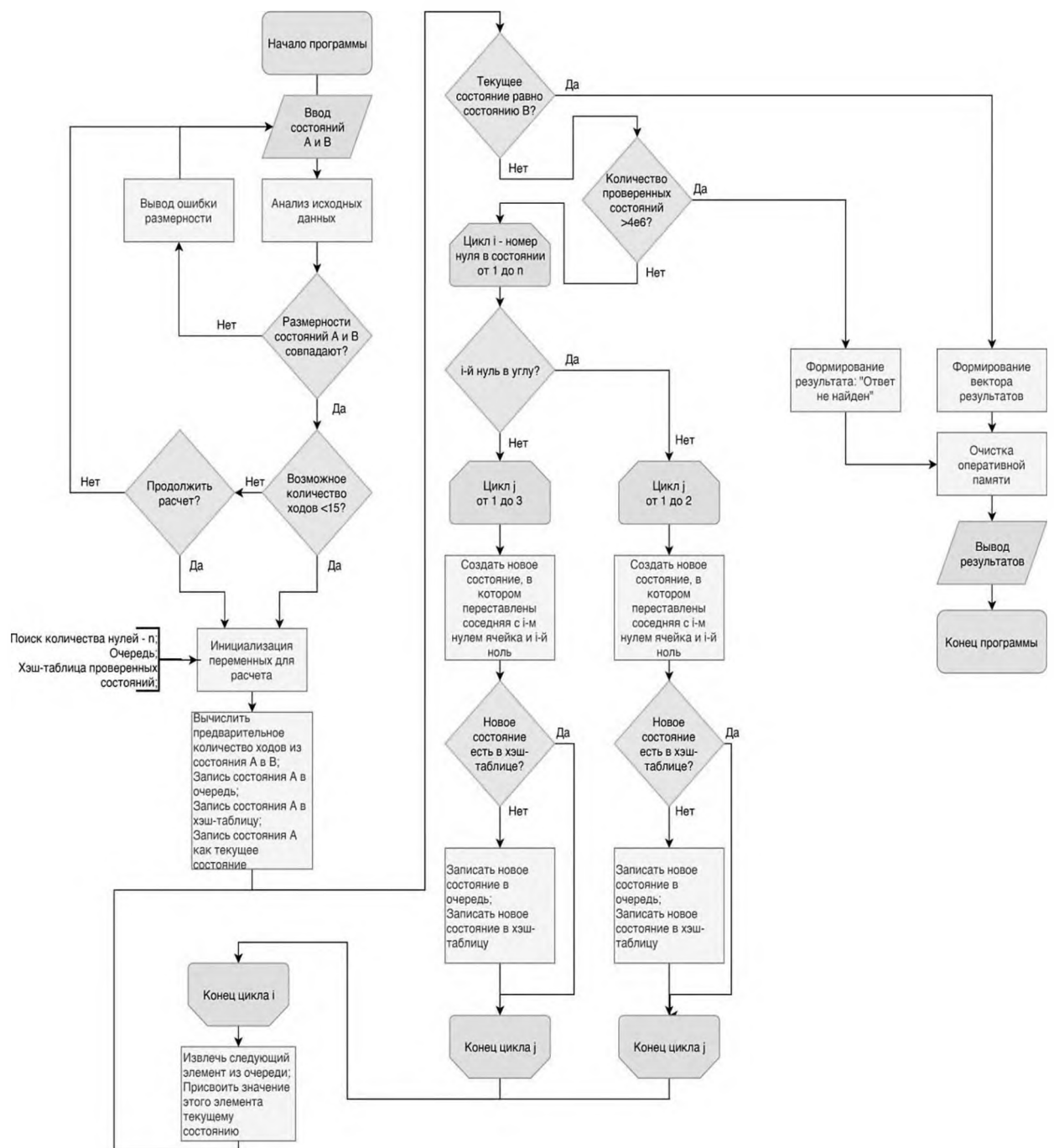


Рисунок В.2 – Блок-схема алгоритма поиска в ширину

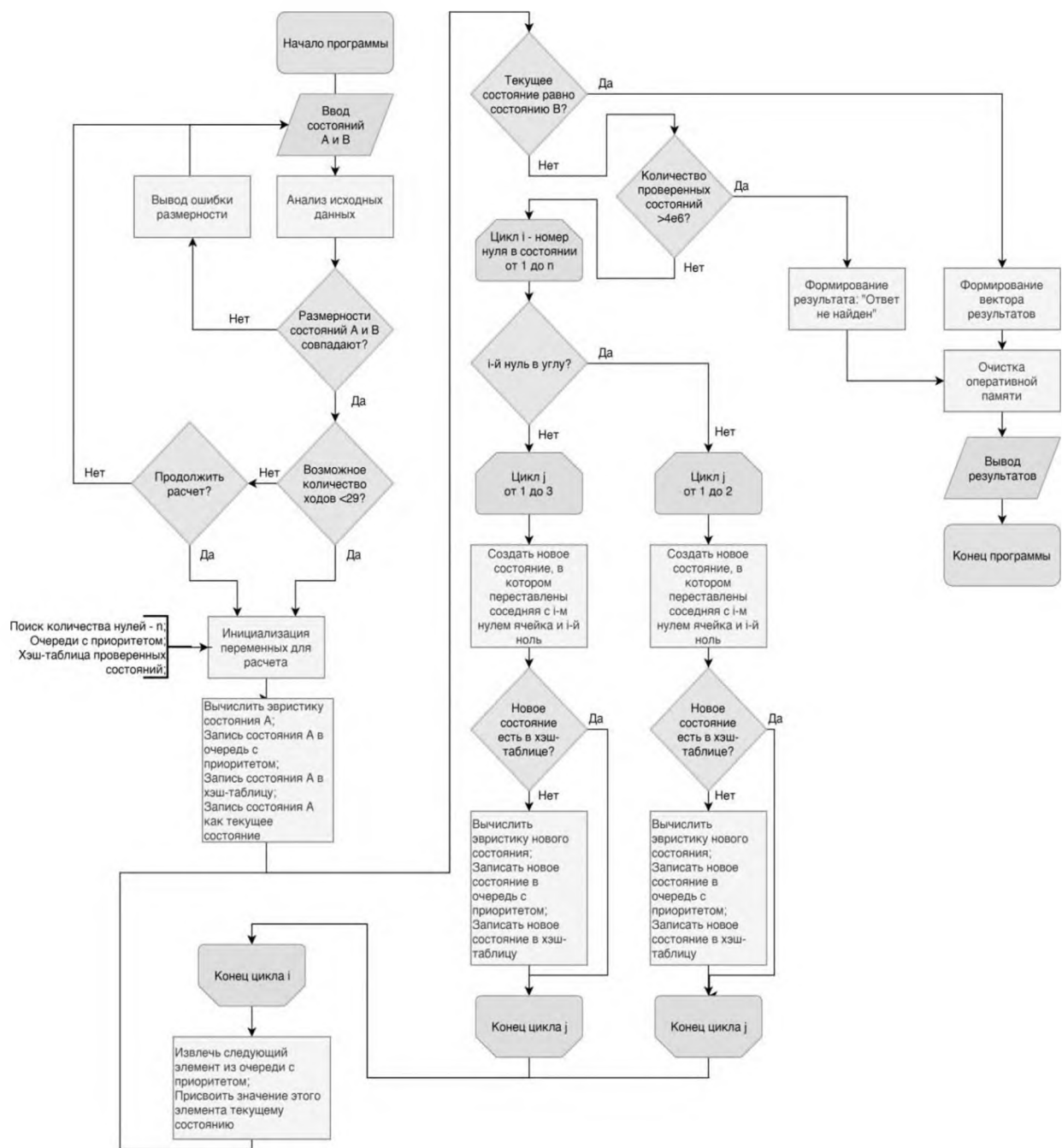


Рисунок В.3 – Блок-схема алгоритма А

Приложение Г

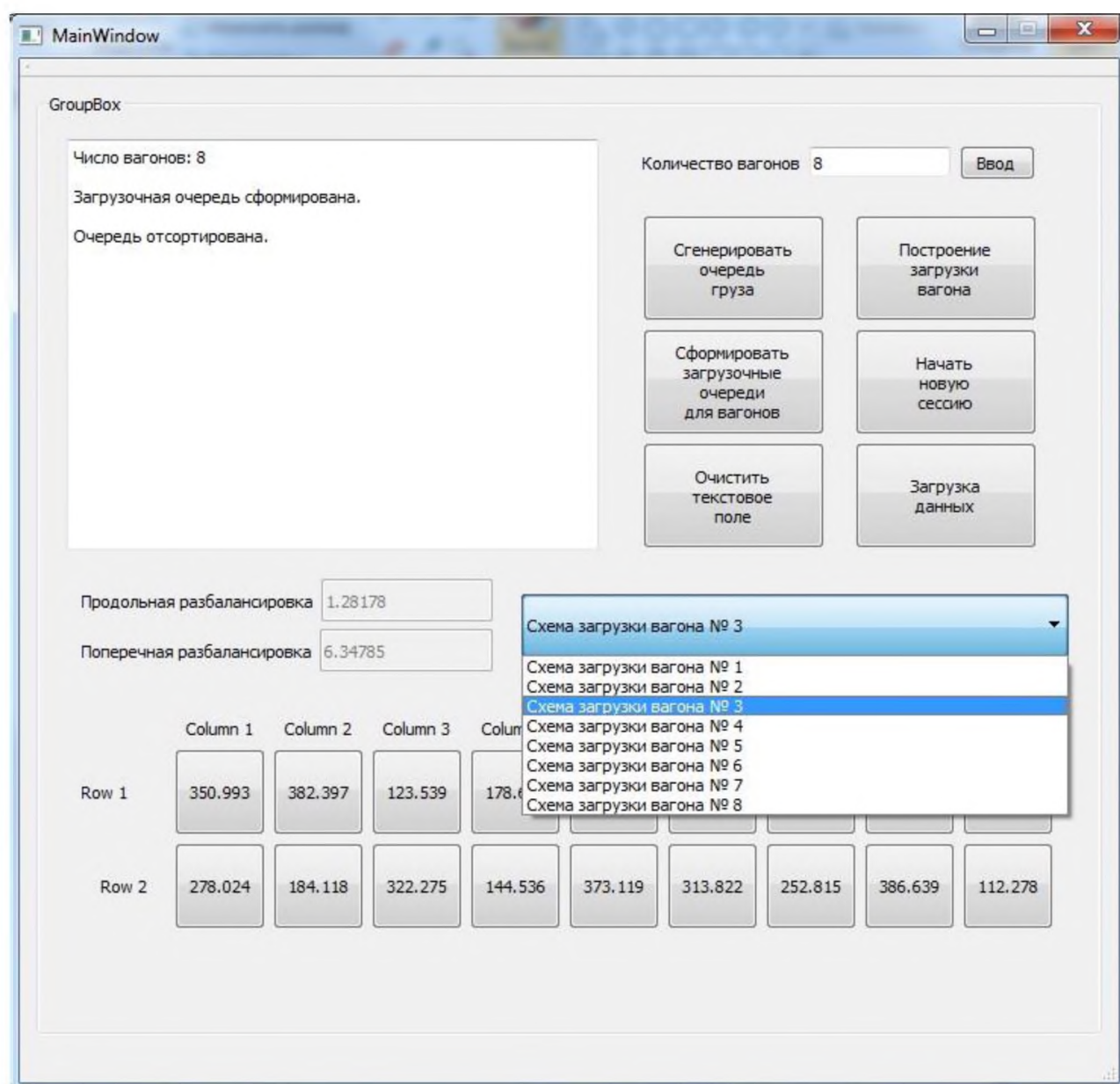


Рисунок Г.1 – Интерфейс программы

Порядок действий

1. Ввести требуемое количество вагонов.
2. Сгенерировать очередь: прикрепить таблицу в формате .csv (с перечнем предъявляемых к перевозке ULD, либо сгенерировать произвольно).
3. Сформировать загрузочную очередь: сортировать предъявляемые ULD по массе в порядке убывания.
4. Построение схем загрузки вагонов.

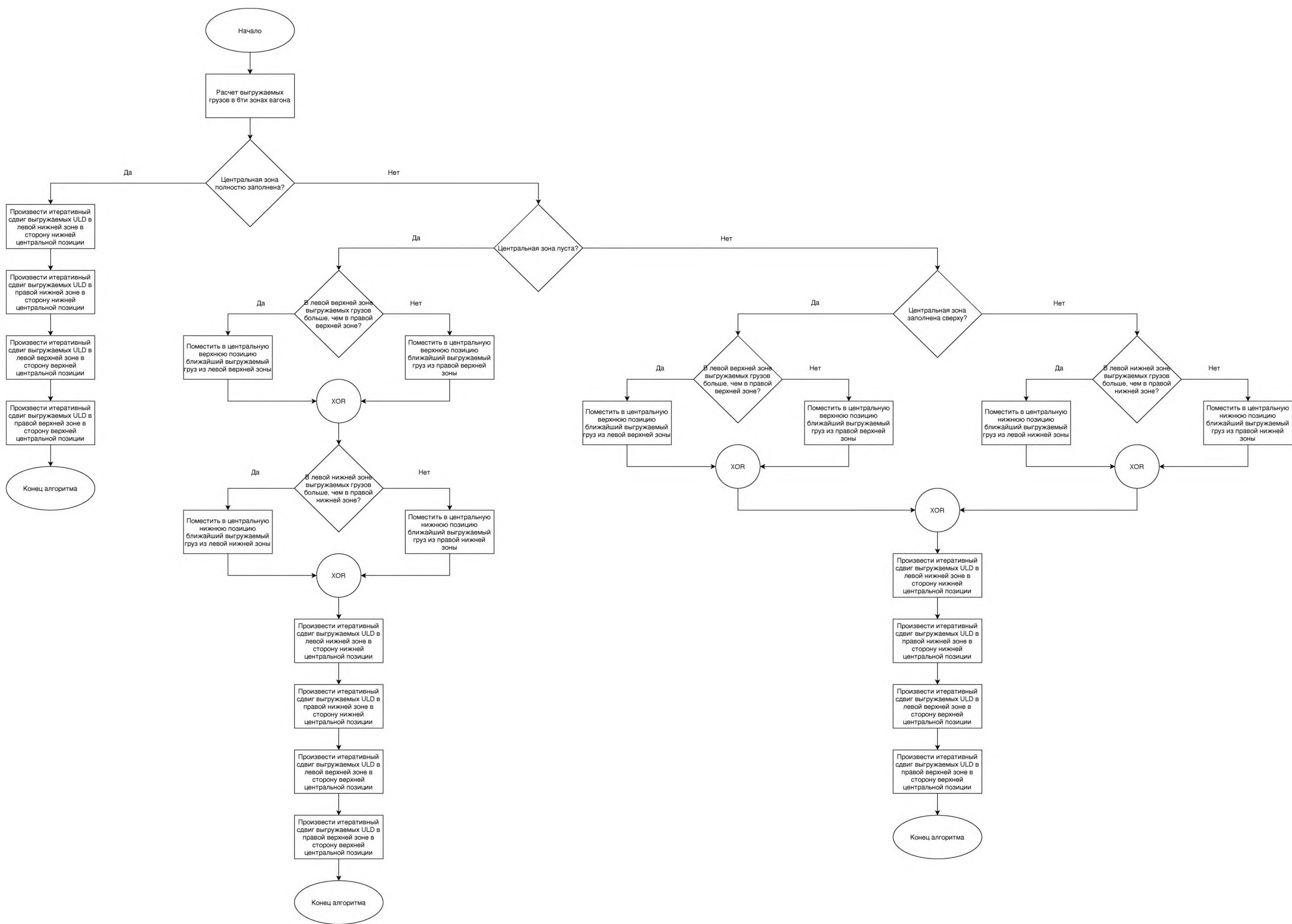


Рисунок Д.1 – Блок-схема алгоритма подготовки ULD к выгрузке